



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

## ANALISIS KORELASI SPASIAL KANAL RADIO HF BERBASIS SIMULASI

Yusnanda Nur Hidayati  
NRP 07111645000045

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 141599

## ANALISIS KORELASI SPASIAL KANAL RADIO HF BERBASIS SIMULASI

Yusnanda Nur Hidayati  
NRP 07111645000045

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

## SPATIAL CORRELATION ANALYSIS OF HF CHANNEL COMMUNICATION BY SIMULATION

Yusnanda Nur Hidayati  
NRP 07111645000045

Supervisors

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “**ANALISIS KORELASI SPASIAL KANAL RADIO HF BERBASIS SIMULASI**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 27 Mei 2018

Yusnanda Nur Hidayati  
07111645000045

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# ANALISIS KORELASI SPASIAL KANAL RADIO HF BERBASIS SIMULASI

## TUGAS AKHIR

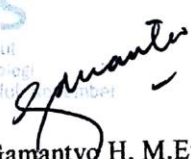
Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

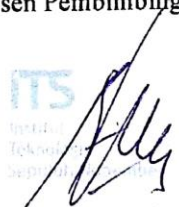
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
Prof. Ir. Gamantyo H. M.Eng. Ph.D.  
NIP. 19704111 199303 1002

  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto. MT.  
NIP. 19610903 198903 1001



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# ANALISIS KORELASI SPASIAL KANAL RADIO HF BERBASIS SIMULASI

Nama mahasiswa : Yusnanda Nur Hidayati  
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Gamantyo H, M.Eng. Ph.D.  
Dosen Pembimbing II : Dr.Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

## Abstrak:

Sistem komunikasi HF(*High Frequency*) merupakan sistem komunikasi menggunakan gelombang radio yang bekerja pada 3-30 MHz. Sistem komunikasi ini mampu mentransmisikan sinyal hingga ribuan kilometer tanpa repeater dengan menggunakan lapisan ionosfer sebagai media propagasi. Namun kualitas sistem komunikasi ini dipengaruhi oleh variasi kondisi lapisan ionosfer yang berubah sepanjang waktu. Perubahan kondisi lapisan ionosfer disebabkan oleh ketinggian ionosfer itu sendiri, lokasi secara geografi, aktivitas matahari, dan sebagainya. Sehingga diperlukan lintasan alternatif dengan memanfaatkan waktu dan spasial ionosfer dalam sistem komunikasi HF apabila terdapat gangguan pada lintasan utama.

Untuk mengetahui *link* mana yang cocok digunakan sebagai *link* alternatif, maka dilakukan korelasi kuat sinyal antara *link* utama dengan beberapa *link* alternatif.

Berdasarkan hasil simulasi, korelasi keseluruhan *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Biak sebesar 0.28734 Korelasi kuat sinyal antara *link* Surabaya-Merauke dengan Surabaya-Ternate adalah 0.025156. Sedangkan korelasi antara *link* Surabaya-Ternate dengan Surabaya-Biak adalah 0.26363. Dari ketiga *link* tersebut, nilai korelasi terendah yaitu antara *link* Surabaya-Merauke dengan Surabaya-Ternate, sehingga *link* Surabaya-Ternate dapat dijadikan sebagai *link* alternatif jika terjadi gangguan pada *link* Surabaya-Merauke.

**Kata kunci:** *High Frequency (HF)*, Korelasi, Simulasi, Kuat Sinyal

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **SPATIAL CORRELATION ANALYSIS OF HF CHANNEL COMMUNICATION BY SIMULATION**

Student Name : Yusranda Nur Hidayati  
Supervisor I : Prof. Ir. Gamantyo H, M.Eng. Ph.D  
Supervisor II : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

## **Abstract:**

HF communication system (High Frequency) is a communication system using radio waves that work on 3-30 MHz. This communication system is capable of transmitting signals up to thousands of kilometers without repeaters by using the ionosphere layer as a propagation medium. However, the quality of this communication system is influenced by the variation of ionosphere layer conditions that vary over time. Changing ionosphere layer conditions are caused by the high ionosphere itself, geographic location, solar activity, and so on. So an alternative path is required by utilizing the spatial and ionosphere time in the HF communication system when there is interference on the main link.

To find out which link is suitable to be used as an alternative link, a strong signal correlation between the main link and some alternative link is required.

Based on the simulation results, the overall correlation of Surabaya-Merauke link with Surabaya-Biak link is 0.28734. The overall correlation of Surabaya-Merauke link with Surabaya-Ternate link is 0.025156. While the overall correlation between Surabaya-Ternate and Surabaya-Biak is 0.26363. The correlation Surabaya-Merauke link and Surabaya-Ternate is the lowest. So Surabaya-Ternate link is suitable to be an alternative link when Surabaya-Merauke link was interrupted.

**Key Word:** *High Frequency (HF), Correlation, Simulation,, Signal Strength*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul

**“ANALISIS KORELASI SPASIAL KANAL RADIO HF  
BERBASIS SIMULASI”.**

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Ibu, Bapak, dan Kakak yang selalu mendoakan penulis.
3. Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Mahasiswa S3 yaitu Ibu Indah, Mbak Umaisaroh , dan Pak Said beserta *HF Research Team* yang telah banyak membantu penulis.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikat manfaat yang luas.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| PERNYATAAN KEASLIAN.....                         | iii  |
| TUGAS AKHIR.....                                 | iii  |
| KATA PENGANTAR .....                             | xi   |
| DAFTAR ISI.....                                  | xiii |
| DAFTAR GAMBAR .....                              | xv   |
| DAFTAR TABEL.....                                | xvii |
| BAB 1 PENDAHULUAN .....                          | 1    |
| 1.1    Latar Belakang .....                      | 1    |
| 1.2    Permasalahan .....                        | 2    |
| 1.3    Tujuan .....                              | 2    |
| 1.4    Batasan Masalah .....                     | 2    |
| 1.5    Metodologi .....                          | 2    |
| 1.6    Sistematika Penulisan.....                | 4    |
| 1.7    Relevansi.....                            | 5    |
| BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....                        | 7    |
| 2.1    Ionosfer .....                            | 7    |
| 2.1.1    Lapisan D .....                         | 8    |
| 2.1.2    Lapisan E.....                          | 8    |
| 2.1.3    Lapisan F.....                          | 9    |
| 2.2    Variasi Ionosfer .....                    | 9    |
| 2.2.1    Diurnal Variation .....                 | 9    |
| 2.2.2    Seasonal Variation .....                | 10   |
| 2.2.3    Location Variation .....                | 10   |
| 2.2.4    Seasonal Variation .....                | 11   |
| 2.3    Komunikasi Radio High Frequency(HF) ..... | 11   |
| 2.4    Antena .....                              | 13   |
| 2.5    Mode Propagasi.....                       | 14   |
| 2.6    Kendala Pada Sistem Komunikasi HF .....   | 14   |
| 2.6.1    Fading.....                             | 15   |
| 2.6.1    Sporadic-E .....                        | 16   |
| 2.6.1    Equatorial Spread F(ESF) .....          | 16   |
| 2.7    Signal Strength.....                      | 17   |
| 2.8    Koefisien Korelasi.....                   | 17   |
| 2.9    Regresi Linier.....                       | 18   |
| 2.10    Great Circle Distance .....              | 19   |
| 2.11    Pembangkitan Fase.....                   | 20   |

|   |    |
|---|----|
| BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....                                 | 21 |
| 3.1    Link Sistem Komunikasi HF yang Diteliti .....              | 21 |
| 3.2    Pemilihan Frekuensi Kerja.....                             | 22 |
| 3.3    Metodologi Penelitian.....                                 | 22 |
| 3.4    PROPLAB .....  | 23 |
| 3.5    Melaukakan Simulasi Proplab .....                          | 24 |
| 3.5.1    Memasukkan Parameter pada Proplab .....                  | 25 |
| 3.6    Menjalankan Simulasi.....                                  | 27 |
| 3.6.1    Memasukkan Parameter Raytracing .....                    | 27 |
| 3.6.2    Proses Simulasi 3D .....                                 | 30 |
| 3.6.3    Konversi Data Simulasi .....                             | 33 |
| 3.7    Menentukan Titik Jatuh Sinyal .....                        | 35 |
| 3.8    Pembangkitan Fase .....                                    | 36 |
| 3.9    Pencampuran Ordinary wave dengan Extraordinary wave ..     | 36 |
| 3.10    Perhitungan Koefisien Korelasi .....                      | 36 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                  | 37 |
| 4.1    Hasil Simulasi .....                                       | 37 |
| 4.2    Perhitungan Titik Jatuh Sinyal .....                       | 41 |
| 4.3    Perhitungan Nilai Kuat Sinyal .....                        | 42 |
| 4.4    Perhitungan Fase.....                                      | 44 |
| 4.5    Perhitungan Total Kuat Sinyal .....                        | 45 |
| 4.6    Perhitungan Koefisien Korelasi .....                       | 46 |
| 4.6.1    Hasil Koefisien Korelasi terhadap Variasi Harian .....   | 46 |
| 4.6.2    Hasil Koefisien Korelasi terhadap Variasi Waktu .....    | 49 |
| 4.6.3    Hasil Koefisien Korelasi terhadap Variasi Keseluruhan .. | 50 |
| 4.7    Verifikasi dengan Hasil Pengukuran .....                   | 51 |
| BAB 5 KESIMPULAN .....  | 53 |
| 5.1    Kesimpulan .....   | 53 |
| 5.2    Saran .....  | 53 |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 55 |
| LAMPIRAN A .....  | 57 |
| LAMPIRAN B.....   | 59 |
| LAMPIRAN C.....   | 61 |
| LAMPIRAN D .....  | 79 |
| BIODATA PENULIS .....   | 87 |



## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| <b>Gambar 1.1</b> Metodologi Penelitian.....   | 4  |
| <b>Gambar 2.1</b> Lapisan Ionosfer [2].....  | 7  |
| <b>Gambar 2.2</b> Variasi Frekuensi Kritis Lapisan E, F1, dan F2 pada<br>Canberra dan Manila [3] .....   | 10 |
| <b>Gambar 2.3</b> Hubungan frekuensi yang digunakan dengan MUF [1] ...   | 12 |
| <b>Gambar 2.4</b> Mode Propagasi .....   | 14 |
| <b>Gambar 2.5</b> <i>Focusing-Decofusing effect</i> yang disebabkan oleh Fading<br>[1].....  | 15 |
| <b>Gambar 2.6</b> Gangguan Lintasan Akibat Sporadic E [1] .....  | 16 |
| <b>Gambar 2.7</b> Regresi Linier Sederhana.....  | 19 |
| <b>Gambar 3.1</b> Peta Tiga Lintasan : Surabaya-Ternate, Surabaya-Biak,<br>Surabaya-Merauke .....  | 21 |
| <b>Gambar 3.2</b> <i>Software</i> Proplab Pro 3.0 .....  | 24 |
| <b>Gambar 3.3</b> Tampilan Utama Proplab .....   | 24 |
| <b>Gambar 3.4</b> Tampilan Menu Pada Proplab.....  | 25 |
| <b>Gambar 3.5</b> Tampilan Kolom <i>Map Options</i> pada <i>Proplab</i> .....  | 25 |
| <b>Gambar 3.6</b> Tampilan kolom <i>IRI Model</i> pada <i>Proplab</i> .....  | 26 |
| <b>Gambar 3.7</b> Memasukkan Daya Pancar yang Diinginkan .....   | 26 |
| <b>Gambar 3.8</b> Melakukan Pemilihan Antena.....  | 27 |
| <b>Gambar 3.9</b> Tampilan Kolom <i>Raytrace Signal</i> Pada <i>Proplab</i> .....  | 28 |
| <b>Gambar 3.10</b> Tampilan Kolom Set Parameters and Raytrace .....  | 28 |
| <b>Gambar 3.11</b> Memasukkan Sudut Elevasi, Sudut Azimuth, dan<br>Frekuensi.....  | 29 |
| <b>Gambar 3.12</b> Scanning Awal Untuk Mendapatkan Sudut Elevasi yang<br>Tepat .....   | 31 |
| <b>Gambar 3.13</b> Hasil Scanning sudut elevasi 36°-39° .....  | 32 |
| <b>Gambar 3.14</b> Scanning Sudut Azimuth dari 54.7°-55.1° Saat Sudut<br>Elevasi Sebesar 37.6° untuk Link S-T pukul 14.00 WIB Tanggal 15<br>November 2016..... | 33 |
| <b>Gambar 3.15</b> Melakukan Scanning ysnng Lebih Teliti dengan Sudut<br>Azimuth 37.5°-37.6° dan Sudut Azimuth sebesar 54.75° .....                            | 34 |
| <b>Gambar 3.16</b> Program <i>Proplab - Utility to Convert Ground</i> .....  | 34 |
| <b>Gambar 3.17</b> Jarak Surabaya-Ternate Pada Proplab.....  | 35 |

**Gambar 4.1** Lintasan 4F *link* Surabaya-Merauke .....37

**Gambar 4.2** Lintasan 2F *link* Surabaya-Merauke .....38

**Gambar 4.3** Titik Jatuh Sinyal Jauh Dari Penerima .....39

**Gambar 4.4** Sinyal Menembus Lapisan Ionosfer .....39

**Gambar 4.5** Hasil Simulasi Surabaya-Ternate 15 November pukul  
14.00 WIB .....41

**Gambar 4.6** *Scatterringplot* Kuat Sinyal (V) keseluruhan antara  
Surabaya-Merauke (S-M) dengan Surabaya-Ternate (S-T) dengan data  
pengukuran .....51

**Gambar 4.7** *Scatterringplot* Kuat Sinyal (V) keseluruhan antara  
Surabaya-Merauke (S-M) dengan Surabaya-Ternate (S-T) dengan data  
simulasi .....52

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabel 2.1</b> Pembagian pita frekuensi [5].....                                  | 11 |
| <b>Tabel 2.2</b> Panduan Pemilihan Antena Berdasarkan Panjang Lintasan [3]<br>..... | 13 |
| <b>Tabel 3.1</b> Sudut Bearing Tiap <i>Link</i> .....                               | 22 |
| <b>Tabel 4.1</b> Lintasan yang didapatkan tiap link .....                           | 38 |
| <b>Tabel 4.2</b> Data Hasil Konversi dari Proplab.....                              | 40 |
| <b>Tabel 4.3</b> Hasil Perhitungan Titik Jatuh Sinyal ST 15 November .....          | 42 |
| <b>Tabel 4.4</b> Data Kuat Sinyal SM Mode 2F .....                                  | 43 |
| <b>Tabel 4.5</b> Data Kuat Sinyal SM Mode 3F .....                                  | 43 |
| <b>Tabel 4.6</b> Data Kuat Sinyal SM Mode 4F .....                                  | 44 |
| <b>Tabel 4.7</b> Perhitungan Fase Surabaya-Merauke 15 November .....                | 45 |
| <b>Tabel 4.8</b> Perhitungan Kuat Sinyal (V) Total 15 November .....                | 45 |
| <b>Tabel 4.9</b> Hasil Absolute Kuat Sinyal Total Tanggal 15 November ....          | 46 |
| <b>Tabel 4.10</b> Hasil Korelasi 15 November .....                                  | 47 |
| <b>Tabel 4.11</b> Hasil Korelasi 16 November .....                                  | 47 |
| <b>Tabel 4.12</b> Hasil Korelasi 17 November .....                                  | 47 |
| <b>Tabel 4.13</b> Sudut Antar dua Link .....  | 47 |
| <b>Tabel 4.14</b> Nilai Koefisien Korelasi Siang .....                              | 49 |
| <b>Tabel 4.15</b> Nilai Koefisien Korelasi Malam.....                               | 49 |
| <b>Tabel 4.16</b> Nilai Koefisien Korelasi Lintasan Keseluruhan .....               | 50 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia merupakan Negara kepulauan terbesar didunia dengan jumlah pulau sebanyak 17.504 pulau. Kondisi geografis Indonesia yang luas serta terdiri dari ribuan pulau membuat masih banyak lokasi yang belum terbangun infrastruktur yang memadai . Salah satu dampak dari belum meratanya pembangunan infrastruktur adalah kesulitan masyarakat dalam mengakses informasi karena belum adanya jaringan telekomunikasi di wilayah tersebut. Untuk mengatasi ketimpangan ini, maka dibutuhkan pembangunan sistem komunikasi untuk menunjang pembangunan serta memudahkan proses komunikasi pada daerah terpencil. Salah satu alternatif sistem komunikasi yang dapat diterapkan pada daerah terpencil adalah sistem komunikasi High Frequency (HF).

Sistem komunikasi HF merupakan sistem komunikasi yang bekerja pada frekuensi antara 3MHz – 30 MHz. Sistem komunikasi HF menggunakan peralatan yang relatif murah jika dibandingkan dengan sistem komunikasi satelit atau fiber optik. Sistem komunikasi HF mampu mengirimkan sinyal dengan menggunakan pantulan satu atau lebih di lapisan ionosfer, yakni 80 km sampai dengan 600 km di atas permukaan bumi, sehingga dapat menjangkau tempat yang jauh tanpa menggunakan repeater. Gelombang radio yang digunakan tidak memerlukan infrastruktur baru karena hanya menggunakan lapisan ionosfer untuk proses propagasinya. Namun sistem komunikasi HF ini sangat bergantung pada kondisi lapisan ionosfer.

Sistem Komunikasi kooperatif adalah sistem komunikasi dimana sumber dan *relay* saling bekerjasama sehingga informasi dapat diterima di tujuan. Jika *link* penerima dan tujuan sedang mengalami gangguan maka informasi dapat dikirimkan oleh pemancar menuju *link* alternatif, selanjutnya relay akan meneruskan informasi tersebut menuju penerima. Salah satu syarat sistem komunikasi kooperatif adalah jalur antar satu *link* dengan *link* lainnya berkorelasi rendah atau tidak berkorelasi. Maka dari itu perlu dicari korelasi spasial antara suatu *link* utama dengan *link-link* alternatif agar dapat diketahui letak *relay* yang tepat untuk membangun suatu sistem komunikasi kooperatif.

## **1.2 Permasalahan**

Adapun permasalahan yang akan dibahas dari tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana mendapatkan kuat sinyal yang diterima radio HF dengan data yang didapatkan dari hasil simulasi Proplab?
2. Bagaimana korelasi spasial kanal komunikasi HF antara link Surabaya-Merauke, Surabaya-Biak, dan Surabaya-Ternate.
3. Verifikasi data dengan hasil pengukuran.

## **1.3 Tujuan**

Berikut tujuan tugas akhir ini diantaranya:

1. Untuk mendapatkan kuat sinyal HF dengan pendekatan simulasi Proplab.
2. Mendapatkan hasil analisa korelasi spasial kanal HF antara Surabaya-Merauke, Surabaya-Biak, dan Surabaya-Ternate
3. Sebagai salah satu kontribusi untuk menunjang penelitian komunikasi HF

## **1.4 Batasan Masalah**

Hal-hal yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisa kanal dilakukan pada Surabaya-Merauke, Surabaya-Ternate dan Surabaya-Biak
2. Frekuensi yang digunakan untuk simulasi adalah 10.145 MHz
3. Simulasi menggunakan software Proplab versi 3
4. Simulasi dilakukan pada tanggal 15 November 2017 – 17 November 2017
5. Simulasi menggunakan antena vertikal monopole
6. Jam simulasi dimulai dari 07.00 UTC hingga 15.00 UTC

## **1.5 Metodologi**

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi pustaka  
Studi literatur ini dilakukan untuk mendapatkan teori-teori dasar yang dapat menunjang pengerjaan tugas akhir ini. Sumber dari

literatur berupa buku, jurnal, paper, majalah dan juga hasil penelitian terdahulu

2. Perancangan Simulasi

Pada tahap ini akan dilakukan penentuan letak *Transmitter* serta *Receiver* yang akan dicari korelasinya. Transmitter diletakkan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, selanjutnya Receiver diletakkan di Universitas Musammus Merauke, LAPAN Biak, serta Universitas Khairun Ternate. Pada tahap ini juga dilakukan input antena yang digunakan, serta daya yang digunakan.

3. Proses Simulasi dan Pengolahan Data

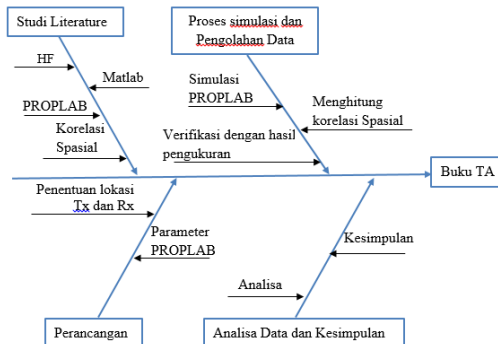
Setelah dilakukan perancangan, selanjutnya dilakukan simulasi untuk mendapatkan kuat sinyal yang diterima pada Receiver. Simulasi dilakukan pada tanggal 15, 16, 17 November 2016

4. Pengolahan Data, Analisa Data, serta Kesimpulan

Setelah semua data simulasi didapatkan, maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengolahan data dan analisa untuk didapatkan korelasi antara link Surabaya-Merauke, Surabaya-Biak, serta Surabaya-Ternate

5. Penyusunan Buku Tugas Akhir

Semua hasil analisa yang telah dilakukan kemudian akan disusun menjadi sebuah buku tugas akhir



**Gambar 1.1** Metodologi Penelitian

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab 2 : Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi penjelasan tentang teori-teori yang terkait dalam penulisan tugas akhir seperti sistem komunikasi *high frequency*(HF), karakteristik lapisan ionosfer, antena monopole, pencampuran sinyal ordinary dan extraordinary, serta korelasi spasial.

Bab 3 : Perancangan dan Pemodelan

Bab ini membahas mengenai perancangan sistem komunikasi HF yang meliputi lokasi *Transmitter* serta *Receiver* yang dimasukkan pada proplab, antena yang digunakan serta daya yang digunakan.

Bab 4 : Analisa Data

Bab ini membahas hasil simulasi. Hasil simulasi tersebut akan diolah untuk mendapatkan korelasi antar link. Hasil korelasi nantinya akan dilakukan verifikasi dengan hasil pengukuran



Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

### **1.7 Relevansi**

Hasil yang diperoleh dai tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Untuk penelitian sistem komunikasi HF Surabaya-Ternate-Biak-Merauke selanjutnya, untuk penerapan sistem komunikasi kooperatif dan penggunaan kanal HF di daerah equatorial.
2. Sebagai komunikasi alternatif untuk daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh alat komunikasi komersial lainnya dan sebagai komunikasi yang murah.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

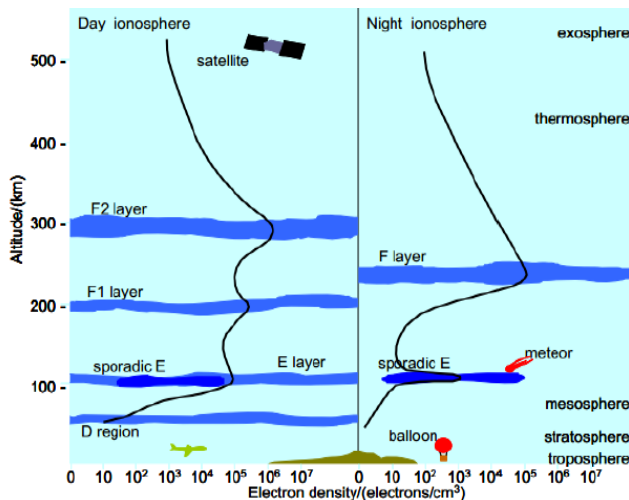
## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Ionosfer

Ionosfer terbentuk dari ion-ion yang terjadi karena pertukaran atom antara sinar matahari dengan zat-zat di Bumi seperti oksigen. Lapisan ionosfer memiliki beberapa lapisan lagi yaitu lapisan D, E dan F. Jenis-jenis lapisan ini dibedakan berdasarkan ketinggiannya dari permukaan bumi. Perbedaan ketinggian antar lapisan D,E,F dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Lapisan Ionosfer bersifat dinamis karena dipengaruhi oleh aktivitas matahari. Pada siang hari, radiasi matahari akan mencapai nilai maksimum sehingga menimbulkan adanya lapisan D, E, F1, dan F2. Pada malam hari radiasi matahari mencapai minimum sehingga menimbulkan lapisan D dan E menghilang sedangkan lapisan F1 dan F2 bergabung menjadi satu lapisan [1]. Inilah alasan mengapa lapisan F adalah lapisan terpenting dalam propagasi gelombang HF.



Gambar 2.1 Lapisan Ionosfer [2]

Kerapatan elektron tergantung pada ketinggian lapisan serta siang dan malam. Semakin tinggi lapisan maka akan memiliki nilai kerapatan yang lebih tinggi. Pada lapisan D, kerapatan elektron sebesar  $1.5 \times 10^4 \text{ cm}^3$  namun menghilang saat malam hari. Pada kerapatan elektron sebesar  $1.5 \times 10^5 \text{ cm}^3$  pada siang hari dan menurun menjadi kurang dari  $1 \times 10^4 \text{ cm}^3$  pada malam hari. Pada lapisan F1 kerapatan elektron sebesar  $2.5 \times 10^5 \text{ cm}^3$  dan menghilang saat malam hari. Sedangkan pada lapisan F2, siang hari memiliki kerapatan elektron sebesar  $1 \times 10^6 \text{ cm}^3$  dan  $1 \times 10^5 \text{ cm}^3$  saat tengah malam. Dengan mengetahui nilai kerapatan elektron tiap lapisan maka dapat diketahui nilai frekuensi kritis tiap lapisan dengan menggunakan rumus

$$f_c = 9 \times 10^{-6} \sqrt{N_{max}} \quad (2.1)$$

Dimana :  $f_c$  = Frekuensi kritis (MHz)  
 $N_{max}$  = Kerapatan elektron ( $\text{m}^3$ )

### 2.1.1 Lapisan D

Lapisan D berada pada ketinggian sekitar 50–90 km. Kadar ionisasi pada lapisan ini tidak begitu padat dibandingkan lapisan yang lebih atas (Lapisan E, F1 dan F2). Lapisan D hanya ada pada siang hari dan intensitasnya tergantung oleh kedudukan matahari. Jika malam hari lapisan ion menjadi netral kembali (Hilang). Lapisan D dapat memantulkan gelombang dengan frekuensi sekitar 500 KHz. Tingkat ionisasinya adalah sesuai dengan kondisi radiasi matahari, yang mencapai puncaknya pada siang hari. Dan itu berbanding lurus dengan tingkat penyerapannya yang juga mencapai maksimum di siang hari. Selain itu tingkat penyerapan oleh lapisan D lebih besar saat musim panas dibandingkan pada musim dingin. Serta terdapat juga variasi terhadap derajat garis lintang bumi, dimana penyerapan akan lebih besar di daerah ekuator, dan makin mengecil mendekati daerah kutub. Frekuensi yang lebih rendah akan terserap lebih besar, sehingga sebaiknya menggunakan frekuensi terbesar yang dimungkinkan.

### 2.1.2 Lapisan E

Kadar ionisasi pada lapisan ini lebih padat dari lapisan D dan dapat memantulkan gelombang radio dengan frekuensi sekitar 20 MHz. Berada pada ketinggian antara 100 – 145 km. Pada lapisan E, suatu sinyal

dapat dibiaskan ataupun dapat diteruskan ke lapisan F (tergantung dari kekuatan frekuensi dan ketebalan lapisan E). Lapisan ini menebal pada siang hari dan akan menyusut (menipis) bahkan hilang pada malam hari. Sehingga pada malam hari sinyal gelombang radio frekuensi HF dengan kekuatan tertentu dapat melewati lapisan ini dan menuju lapisan di atasnya (lapisan F).

### **2.1.3 Lapisan F**

Pada siang hari lapisan F terbagi dalam dua lapisan, yaitu Lapisan F1 dan F2. Lapisan F1 berada pada ketinggian sekitar 200 Km dan F2 pada ketinggian sekitar 300 km. Pada malam hari kedua lapisan ini melebur menjadi satu dengan ketinggian sekitar 275 Km. Pada lapisan ini ionisasi sangat padat dan tebal dan sangat potensial untuk memantulkan gelombang radio frekuensi tinggi (HF) mulai 3 MHz – 30 MHz. Pemanfaatan lapisan F sebagai pemantul gelombang sangat tergantung oleh lapisan D. Karena lapisan D ada pada siang hari dan hilang pada malam hari, maka propagasi gelombang radio pada Lapisan F akan membuka pada malam hari saja, biasanya dimulai menjelang malam sampai mulai fajar keesokan harinya.

## **2.2 Variasi Ionosfer**

Ionosfer tercipta karena adanya radiasi matahari, sehingga ionosfer akan mengalami perubahan sepanjang hari dan musim. Kerapatan elektron sangat tinggi terjadi saat musim panas, siang hari, dan di daerah ekuator. Variasi Ionosfer ini akan menyebabkan berubah-ubahnya frekuensi kritis yang terjadi pada tiap lapisan.

### **2.2.1 Diurnal Variation**

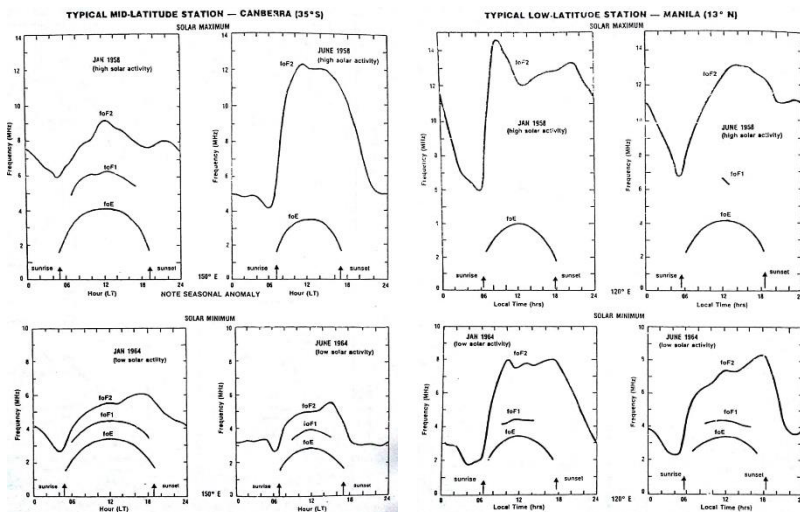
Sepanjang hari matahari akan mengalami pergerakan, sehingga ionosphere akan mengalami perubahan. Sehingga zenith angle akan berubah-ubah sepanjang waktu. Zenith angle merupakan sudut diantara matahari dengan pengamat. Jika terjadi perubahan pada sudut zenith maka akan terjadi perubahan pula pada frekuensi kritis. Pengaruh sudut zenith dengan frekuensi kritis dapat dijelaskan pada persamaan berikut

$$f_oE = 0.9[(180 + 1.44R)\cos Z] \quad (2.2)$$

Dimana :  $f_oE$  = Frekuensi kritis pada layer E (MHz)  
 R = Sunspot Number  
 Z = Sudut Zenith

### 2.2.2 Seasonal Variation

Ionosfer juga bervariasi tergantung musim. Sudut zenith terbagus terjadi saat pertengahan hari, sehingga menyebabkan frekuensi kritis lebih besar. Pada Gambar 2.2 frekuensi kritis layer D,E,F1 musim panas di Canberra yang terjadi pada bulan Januari lebih besar daripada frekuensi kritis saat musim dingin yang terjadi pada bulan Juni, namun tidak begitu dengan frekuensi kritis F2. Hal ini disebut Mid Latitude Seasonal Anomaly.



**Gambar 2.2** Variasi Frekuensi Kritis Lapisan E, F1, dan F2 pada Canberra dan Manila [3]

### 2.2.3 Location Variation

Variasi ionosfer disebabkan pula oleh lokasi. Perbedaan lokasi akan memiliki perbedaan pula pada sudut zenith, sehingga akan berbeda pula frekuensi kritis. Pada Gambar 2.2 terlihat bahwa pada bulan dan

tahun yang sama terjadi perbedaan frekuensi kritis D,E,F1,dan F2 antara Canberra dan Manila.

#### 2.2.4 Seasonal Variation

Dari hari ke hari variasi ionosfer belum dapat di deskripsikan secara jelas karena banyak hal yang tidak diketahui terjadi. Namun aktivitas matahari dapat digunakan sebagai salah satu parameter dalam variasi ionosfer. Ketika aktivitas matahari tinggi maka nilai frekuensi kritis akan ikut tinggi. Jika aktivitas matahari rendah maka nilai frekuensi kritis akan mengalami penurunan.

### 2.3 Komunikasi Radio High Frequency(HF)

Sistem komunikasi High Frequency (HF) pertama kali diteliti oleh R.F. Therane, Z.R. Jeffrey dan C.G.McGue pada tahun 1950, sejak saat itu sistem komunikasi HF dikembangkan sebagai salah satu alternatif komunikasi jarak jauh dengan biaya yang murah [3]. Sistem komunikasi HF memiliki kemampuan untuk mengakses daerah terpencil atau pulau-pulau yang sulit dijangkau oleh sistem komunikasi nirkabel. Sistem komunikasi HF dapat dimanfaatkan sebagai sarana komunikasi darurat seperti peringatan bencana dini dan lain sebagainya [4].

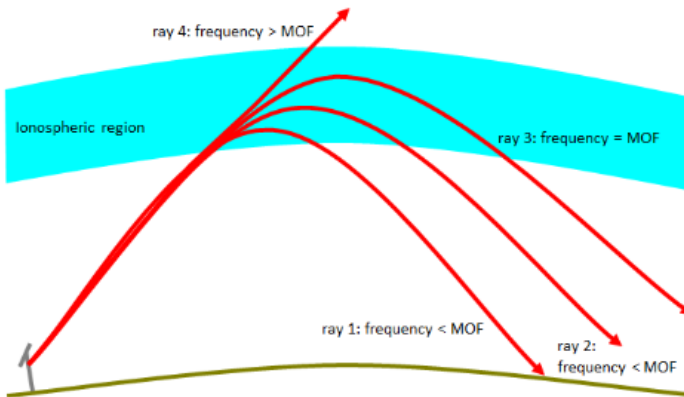
Sistem komunikasi HF bekerja pada rentang frekuensi 3 sampai 30 MHz, sebagaimana didefinisikan pada pembagian *band* frekuensi dari ITU-T. Sistem Komunikasi ini dapat menempuh jarak yang jauh tanpa memerlukan adanya *repeater*. Hal ini dikarenakan sistem komunikasi ini memanfaatkan pantulan yang diakibatkan oleh ionosfer. Karena tidak memerlukan repeater maka sistem komunikasi ini tergolong sistem komunikasi dengan biaya rendah jika dibandingkan dengan sistem komunikasi lainnya.

**Tabel 2.1** Pembagian pita frekuensi [5]

| Pita Frekuensi                | Rentang Frekuensi |
|-------------------------------|-------------------|
| Extremely low frequency (ELF) | < 3 kHz           |
| Low frequency (LF)            | 3 – 30 kHz        |
| Medium frequency (MF)         | 30 – 300 kHz      |
| High frequency (HF)           | 300 kHz – 3 MHz   |
| Very high frequency (VHF)     | 3 – 30 MHz        |
| Ultra high frequency (UHF)    | 30 – 300 MHz      |
| Super high frequency (SHF)    | 300 MHz – 3 GHz   |

|                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| Extra high frequency (EHF) | 3 – 30 GHz<br>30 – 300 GHz |
|----------------------------|----------------------------|

Ada empat komponen yang menentukan keberhasilan komunikasi dengan menggunakan gelombang ionosfer pada frekuensi HF yakni pemilihan frekuensi, sudut elevasi, pemilihan antenna, dan daya pancar. Pemilihan frekuensi bergantung kepada kondisi kerapatan elektron di ionosfer, sedangkan sudut elevasi ditentukan oleh jarak antara pemancar dan penerima. Besarnya daya pancar dipengaruhi oleh redaman sepanjang lintasan propagasi, sehingga harus ditentukan daya pancar yang cukup untuk mencapai penerima dengan daya yang melebihi sensitifitas penerima. Sedangkan pemilihan antenna yang cocok juga tergantung jarak antara pemancar dan penerima.



**Gambar 2.3** Hubungan frekuensi yang digunakan dengan MUF [1]

Salah satu kuantitas yang paling penting dalam komunikasi HF adalah *maximum usable frequency* (MUF). MUF adalah frekuensi radio tertinggi yang dapat digunakan. Nilai MUF tergantung pada nilai frekuensi kritis pada titik refleksi ionosfer dan sudut incidence. Nilai MUF berubah-ubah sepanjang hari. Umumnya nilai MUF akan meningkat pada siang hari dan menurun pada malam hari karena produksi elektron di ionosfer pada siang hari akan meningkat dan menurun pada malam hari. Jika frekuensi yang digunakan kurang atau sama dengan nilai MUF, maka gelombang radio akan dipantulkan ke bumi. Jika nilai



frekuensi yang digunakan melebihi nilai MUF, maka gelombang radio akan menembus ionosfer dan tidak dipantulkan lagi ke bumi. Untuk mencari nilai MUF dapat digunakan rumus sebagai berikut [3].

$$MUF = f_c \cdot \sec I \quad (2.3)$$

Dimana :  $f_c$  = frekuensi kritis  
 $I$  = sudut insiden

## 2.4 Antena

Antena adalah salah satu faktor penting dalam propagasi gelombang HF. Antena dipilih sesuai kebutuhan yang diinginkan. Suatu antena bisa jadi ideal dalam situasi tertentu, namun bisa jadi kurang maksimal di situasi lainnya.

**Tabel 2.2** Panduan Pemilihan Antena Berdasarkan Panjang Lintasan [3]

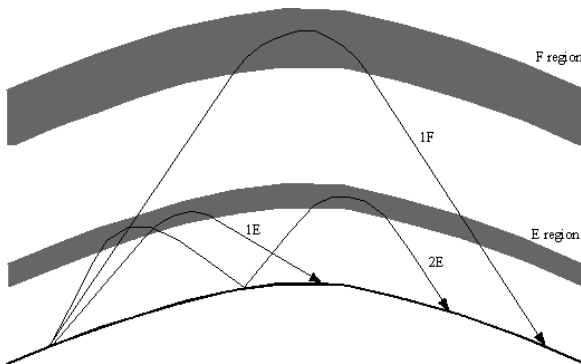
| Panjang Lintasan(km) | Sudut Elevasi         | Antena            |
|----------------------|-----------------------|-------------------|
| 0-200                | 60°-90°               | Horizontal dipole |
| 200-500              | 40°-70°               | Horizontal dipole |
| 500-1000             | 25°-50°               | Horizontal dipole |
| 1000-2000            | 10°-30°               | Vertical Monopole |
| 2000-3000            | 5°-15°<br>Dan 20°-30° | Vertical Monopole |
| >3000                | Low angles            | Vertical Monopole |

Tabel 2.2 adalah panduan untuk pemilihan antena sesuai jarak yang diinginkan. Untuk jarak kurang dari 1000 km, antena *horizontal dipole* adalah pilihan yang bagus. Antena *vertical monopole* tidak cocok untuk panjang lintasan <1000 km karena sebagian besar energi yang dipancarkan dari monopole vertikal meninggalkan antena di sudut elevasi rendah. Sedangkan untuk lintasan jarak jauh, antena yang sesuai adalah *vertical monopole*. Untuk lintasan yang dekat, antena yang cocok adalah antena *horizontal dipole*  $1/2\lambda$ , karena antena ini dapat mengirimkan sebagian besar energinya lurus keatas.

## 2.5 Mode Propagasi

Mode propagasi adalah jalur yang digunakan gelombang radio ketika melakukan perjalanan dari pemancar ke penerima. Jalur ini bermacam-macam dan bervariasi, Setiap gelombang radio yang dipancarkan akan memiliki jalurnya masing-masing. Mode propagasi bisa satu hop(satu pantulan dari ionosfer), dua hop(dua pantulan dari ionosfer), dan seterusnya.

Setiap pantulan akan memberikan redaman, sehingga semakin banyak pantulan yang dihasilkan maka akan semakin besar pula nilai redamannya. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa semakin banyak pantulan maka akan membuat nilai *signal strength* menjadi kecil. Oleh karena itu *losses* pada 1F akan selalu lebih rendah daripada 2F,3F, dan seterusnya. *Losses* yang ditimbulkan akibat refleksi di tanah untuk hop panjang(elevasi sudut rendah) adalah 3dB dan 0.5dB untuk refleksi dari permukaan laut [3].



**Gambar 2.4** Mode Propagasi

## 2.6 Kendala Pada Sistem Komunikasi HF

Adapun propagasi gelombang radio HF memiliki beberapa permasalahan dalam proses transmisi yang diakibatkan oleh perilaku lapisan ionosfer yang mengganggu, dimana lapisan ionosfer difungsikan sebagai kanal dalam sistem komunikasi ini. Fenomena-fenomena yang terjadi pada lapisan ionosfer lebih banyak disebabkan karena aktifitas

dari matahari. Beberapa permasalahan pada sistem komunikasi HF antara lain:

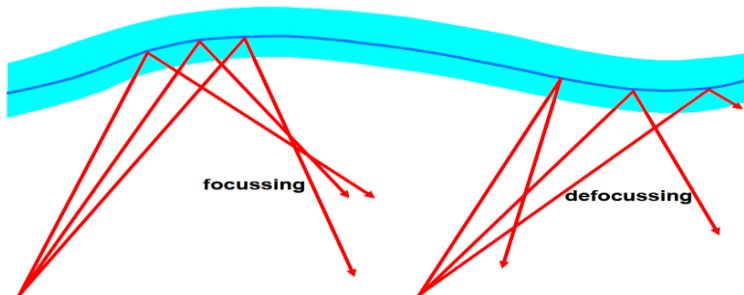
### 2.6.1 Fading

Fading disebabkan oleh interferensi antara dua atau lebih versi dari sinyal yang diterima pada waktu yang sedikit berbeda sehingga level sinyal yang diterima berbeda-beda. Fading pada sistem komunikasi HF dapat disebabkan oleh *multipath* dimana terjadi penggabungan pada antenna penerima untuk memberikan sinyal resultan yang dapat bervariasi dalam amplitudo dan fase, tergantung pada intensitas distribusi, waktu relatif, propagasi dan gelombang dan *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan.

Fading dalam komunikasi HF dikenal dengan istilah *Travelling Ionosphere Disturbance* (TID) pada gambar 2.4 mengakibatkan posisi menjadi bergeser sehingga sinyal yang difokuskan akan mengalami hamburan. TID dapat menyebabkan variasi dalam fase, amplitudo, polarisasi dan sudut kedatangan gelombang radio [3].

Fenomena fading ini mungkin bisa disebabkan oleh keempat penyebab dibawah ini, yaitu : [1]

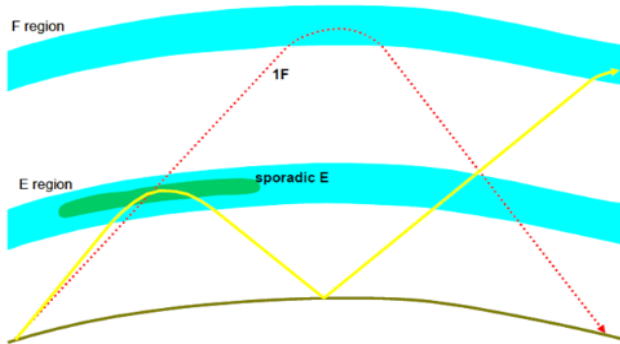
1. Pergerakan dari lapisan ionosfer dan perubahan dari panjang lintasan propagasi,
2. Perputaran dari polarisasi gelombang,
3. Variasi absorpsi dari lapisan ionosfer,
4. Menghilangnya sinyal dan atau ketidakfokusan lintasan pada penerima disebabkan karena besarnya penurunan MUF dibawah frekuensi operasinya.



**Gambar 2.5** *Focusing-Decofusing effect* yang disebabkan oleh Fading [1]

### 2.6.1 Sporadic-E

*Sporadic-E* merupakan salah satu fenomena ketidakteraturan lapisan ionosfer yang dapat mengganggu sistem komunikasi HF. Munculnya *sporadic-E* yang disebabkan karena meningkatnya kerapatan elektron di lapisan E. Gangguan yang disebabkan karena *sporadic-E* ini menyebabkan pengiriman sinyal dari pemancar ke penerima yang seharusnya di pantulkan pada lapisan F, namun karena munculnya *sporadic-E* sangat besar maka sinyal di pantulkan oleh *sporadic-E* sehingga jarak jangkanya berubah sehingga tidak dapat sampai pada penerima. [6] Ilustrasi tersebut digambarkan pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.6** Gangguan Lintasan Akibat Sporadic E [1]

### 2.6.1 Equatorial Spread F(ESF)

Pada saat terbenam matahari di ionosfer daerah khatulistiwa dan lintang rendah, terjadi peningkatan medan listrik dari arah timur sebelum bergerak ke barat. Peningkatan ini menyebabkan ketidakteraturan pada plasma. Ketidakteraturan ini diamati lewat penyebaran jejak di ionogram, yang disebut spread F. Hal ini menyebabkan anomali ionisasi pada ekuator, atau disebut *Equatorial Spread F* (ESF). *Spread F* di ekuator yang terjadi pada malam hari menimbulkan sintilasi dan fading yang mengganggu komunikasi radio HF dan satelit [7]. Peningkatan aktivitas matahari meningkatkan pula kejadian ESF, dimana ESF akan terjadi maksimal pada saat *equinox*, sedangkan minimal pada saat matahari jauh dari ekuator. Pulsa yang diterima yang direfleksikan pada lapisan ionosfer F<sub>2</sub> (ketinggian diatas 200 km) memiliki durasi waktu yang sepuluh kali lebih lama daripada

pulsa yang dikirimkan, fenomena ini diakibatkan *Spread F*. *Spread F* disebabkan oleh ketidakaturan ionosfer, baik kedalaman maupun jarak dari *zenith*. Ketidakaturan ini sangat penting dalam propagasi gelombang radio HF dan VHF karena akan memperpanjang waktu, mengurangi laju informasi dan menghasilkan *fading* yang tinggi [6].

## 2.7 Signal Strength

Kuat sinyal adalah salah satu karakteristik yang penting dalam propagasi gelombang radio HF. Amplitudo dari sinyal yang diterima tergantung pada beberapa faktor seperti jangkauan propagasi, *absorption*, polarisasi, dan pengaruh *multipath*. [8]

Sinyal yang diterima oleh penerima bervariasi, dapat berupa gelombang *ordinary* dan gelombang *extraordinary* dengan *singlemode* atau *multimode*. Setiap gelombang memiliki intensitas sinyal serta fase yang berbeda dengan yang lain. Untuk menghitung total intensitas sinyal pada propagasi gelombang HF, maka dilakukan penjumlahan kuat sinyal dari gelombang *ordinary* dan *extraordinary* dari beberapa *mode* propagasi.

$$V = V_o + V_x = \{A_o + A_x \exp[i\varphi_x - i\varphi_o]\} \exp[i\varphi_o] \quad (2.4)$$

Dimana :  $V_o$  = Kuat sinyal gelombang *ordinary* (V)

$V_x$  = Kuat sinyal gelombang *extraordinary* (V)

$A_o$  = Kuat sinyal *ordinary* sebelum tercampur *Phase* (V)

$A_x$  = Kuat sinyal *extraordinary* sebelum tercampur *Phase* (V)

$\varphi_o$  = Phase gelombang *ordinary* (rad)

$\varphi_x$  = Phase gelombang *extraordinary* (rad)

Sehingga jika pada suatu lintasan terdapat beberapa mode propagasi, maka untuk menghitung total kuat sinyal dapat digunakan rumus

$$V = (V_{o1} + V_{x1}) + (V_{o2} + V_{x2}) + \dots (V_{on} + V_{xn}) \quad (2.5)$$

## 2.8 Koefisien Korelasi

Analisis korelasi adalah suatu teknik yang digunakan dalam mengukur kedekatan hubungan antar variabel [8] Untuk mengetahui apakah kedua variabel tersebut berkorelasi, maka dicari nilai koefisien

korelasi. Dari koefisien korelasi tersebut bisa dianalisa bahwa jika nilai koefisien korelasi semakin mendekati nilai satu maka tingkat korelasi semakin besar, sedangkan jika nilai koefisien korelasi tersebut sama dengan nol maka tidak ada korelasi antara kedua variabel tersebut. Untuk mencari nilai koefisien korelasi maka digunakan rumus berikut.

$$r = \frac{N \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2][N \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (2.6)$$

Dimana  $\sum xy$  = penjumlahan dari hasil kali variabel x dengan variabel y

$\sum x$  = penjumlahan nilai x

$\sum y$  = penjumlahan nilai y

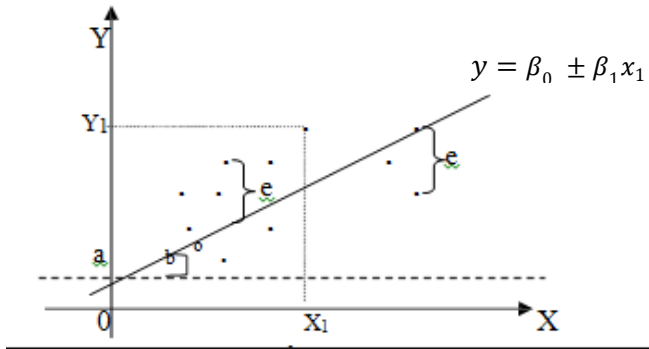
N = Jumlah data

Koefisien korelasi mempunyai nilai -1 hingga +1 dimana angka -1 menunjukkan adanya hubungan yang linear bersifat negatif dan +1 menunjukkan adanya hubungan yang linear bersifat positif [8].

## 2.9 Regresi Linier

Analisis regresi adalah salah satu teknik statistik yang paling umum digunakan dalam ilmu sosial dan perilaku serta dalam ilmu-ilmu fisik yang melibatkan mengidentifikasi dan mengevaluasi hubungan antara variabel dependen dan satu atau lebih variabel independen, yang juga disebut variabel prediktor atau penjelas. Ini sangat berguna untuk menilai dan menyesuaikan untuk perancu. Model hubungan tersebut dihipotesiskan dan perkiraan nilai parameter digunakan untuk mengembangkan persamaan regresi yang diperkirakan. Berbagai tes kemudian digunakan untuk menentukan apakah model tersebut memuaskan. Jika model dianggap memuaskan, estimasi persamaan regresi dapat digunakan untuk memprediksi nilai variabel dependen yang diberikan nilai untuk variabel independen. [9]

Regresi linier mengeksplorasi hubungan yang dapat dengan mudah dijelaskan oleh garis lurus atau generalisasi mereka ke banyak dimensi. Sejumlah besar masalah yang mengejutkan dapat diselesaikan dengan regresi linier, dan bahkan lebih banyak lagi melalui transformasi variabel asli yang menghasilkan hubungan linear antara variabel yang ditransformasikan.



**Gambar 2.7** Regresi Linier Sederhana

Regresi linear sederhana adalah metode statistik yang memungkinkan kita meringkas dan mempelajari hubungan antara dua variabel kontinu (kuantitatif). Dalam hubungan sebab dan akibat, variabel independen adalah penyebabnya, dan variabel dependen adalah efeknya. Secara matematis, model regresi didapatkan dengan persamaan sebagai berikut

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 \quad (2.7)$$

Dimana:  $x$  = variable  $x$

$y$  = variabel  $y$

$\beta_0$  = *Intercept Point* dari garis regresi dan  $y$  axis

$\beta_1$  = Gradien dari garis regresi

Dari persamaan diatas untuk mendapatkan  $\beta_0$  dan  $\beta_1$  dapat digunakan persamaan sebagai berikut

$$\beta_1 = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2.8)$$

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x} \quad (2.9)$$

Dimana:  $n$  = Jumlah data

## 2.10 Great Circle Distance

Jarak antara dua titik di Bumi dapat dihitung menggunakan *great circle distance*, yaitu, jarak terpendek pada permukaan bola adalah di sepanjang jalur lingkaran yang pusatnya adalah pusat bola. Karena Bumi dimodelkan menyerupai bola maka untuk menghitung jarak

terpendek dari dua lokasi dapat digunakan *great circle distance*. Untuk menghitung *great circle distance* dapat digunakan persamaan sebagai berikut

$$X = R_{earth} \times \text{Acos}(\sin lat_1 \times \sin lat_2 + \cos lat_1 \times \cos lat_2 \times \cos(lon_1 - lon_2)) \quad (2.10)$$

Dimana : X : Radius titik jatuh sinyal (km)  
 $R_{earth}$  : Jari-jari Bumi (6371 km)  
 $Lat_1$  : Latitude penerima (rad)  
 $Lat_2$  : Latitude hasil simulasi(rad)  
 $Lon_1$  : Longitude penerima (rad)  
 $Lon_2$  : Longitude hasil simulasi (rad)

## 2.11 Pembangkitan Fase

Setiap sinyal yang sampai menuju penerima mempunyai nilai fase yang berbeda-beda. Untuk membangkitkan nilai fase dari data simulasi maka digunakan rumus :

$$\theta = \frac{((X) \bmod (\lambda))}{\lambda} \times 360^\circ \quad (2.11)$$

Dimana :  $\theta$  : Fase (deg)  
 $\lambda$  : Panjang Gelombang  
 $X$  : Total jarak yang diperoleh dari Proplab (m)



## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang hal-hal yang berkaitan dengan proses dan tahapan simulasi yang digunakan guna mendapatkan parameter-parameter yang diinginkan.

#### 3.1 Link Sistem Komunikasi HF yang Diteliti

*Link* sistem komunikasi HF dimulai dari pemancar yang berada di Surabaya, serta penerima yang berada di Ternate, Biak, serta Merauke. Berdasarkan simulasi yang akan dilakukan, maka spesifikasi data yang dicari adalah :

|                  |   |
|------------------|---|
| Tanggal          | : 15-17 November 2016   |
| Jam (WIB)        | : 14.00 – 22.00   |
| <i>Link</i>      | : ST(Surabaya-Ternate),<br>SB(Surabaya-Biak),<br>SM(Surabaya-Merauke)   |
| Titik Pengamatan | : S(Lat : -7.2821      Lon : 112.7951)<br>T(Lat : 0.7636      Lon : 127.3363)<br>B(Lat : -1.173743      Lon : 136.100759)<br>M(Lat : -8.5318      Lon : 140.4171) |



**Gambar 3.1** Peta Tiga Lintasan : Surabaya-Ternate, Surabaya-Biak, Surabaya-Merauke

*Link* tersebut merupakan jalur yang akan digunakan dalam simulasi. dengan nilai sudut *bearing* masing-masing lintasan dapat dilihat pada Tabel 3.1. Surabaya bertindak sebagai pemancar, sedang Merauke, Biak, dan Ternate bertindak sebagai penerima. Nilai *longitude* dan *latitude* didapatkan dari Google Earth pada setiap titik pengamatan. Dimana pada Surabaya penempatan pemancar diletakkan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, pada Ternate penempatan antenna diletakkan di Universitas Khairun, pada Biak penempatan antenna diletakkan di LAPAN Biak, dan untuk Merauke penempatan antenna diletakkan di Universitas Musamus. Hasil dari proplab yang akan diolah selanjutnya untuk mendapatkan nilai koefisien korelasi adalah kuat sinyal.

**Tabel 3.1** Sudut Bearing Tiap *Link*

| Link               | Bearing |
|--------------------|---------|
| Surabaya – Merauke | 94.5°   |
| Surabaya - Biak    | 76.35°  |
| Surabaya - Ternate | 61.57°  |

### 3.2 Pemilihan Frekuensi Kerja

Berdasarkan peraturan menteri komunikasi dan informatika Republik Indonesia nomor 25 tahun 2014 tentang alokasi spektrum frekuensi radio Indonesia. Frekuensi radio amatir untuk HF adalah : 3,5 MHz ; 7,1 MHz ; 10,1 MHz; 14,1 MHz; 18,1 MHz; 21,09 MHz; 24,9 MHz; dan 28,1 MHz. Maka penelitian tugas akhir ini menggunakan frekuensi 10.145 MHZ. Frekuensi kerja yang digunakan pada proses simulasi ini adalah frekuensi yang biasa digunakan sebagai radio amatir dan bersifat non-komersial yang dapat digunakan oleh umum.

### 3.3 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah pengerjaan tugas akhir ini seperti pada diagram alir Gambar 3.2. Berikut ini adalah langkah-langkah pengerjaan tugas akhir :

1. Memasukkan Parameter Simulasi  
Pada tugas akhir ini akan dilakukan simulasi menggunakan *software proplab*. Dimana sebelum melakukan simulasi maka harus diinputkan beberapa

parameter. Parameter-parameter tersebut adalah letak *latitude* dan *longitude* pemancar dan penerima, waktu simulasi yang dipakai, nilai *Sunspot Number* (SSN), jenis antena yang dipakai, frekuensi yang digunakan serta daya pancar yang digunakan,

2. Melakukan Simulasi

Setelah memasukkan semua parameter. Maka selanjutnya adalah melakukan simulasi. Simulasi dilakukan dengan memasukkan sudut elevasi dan sudut azimuth. Simulasi pertama dilakukan *scanning* dengan memasukkan sudut elevasi antara  $10^{\circ}$ - $70^{\circ}$  dengan *step rate* 1-5. Setelah didapatkan pada sudut elevasi berapa sinyal jatuh dekat dengan penerima maka dilakukan *scanning* lagi untuk mendapatkan hasil yang lebih presisi.

3. Melakukan Perhitungan Kuat Sinyal

Dari hasil simulasi maka akan didapatkan data *signal strength*. Data tersebut masih dalam berupa  $dB\mu V$  dan akan dirubah menjadi V. Setiap *link* memiliki beberapa lintasan, sehingga untuk menghitung kuat sinyal, maka dilakukan penjumlahan kuat sinyal dari tiap lintasan yang didapatkan.

4. Mencari Nilai Korelasi

Setelah didapatkan data kuat sinyal dari masing-masing *link*. Selanjutnya adalah mencari nilai korelasi antar *link*.

### 3.4 PROPLAB

PROPLAB PRO merupakan sebuah perangkat lunak yang berisi semua fitur mengenai propagasi di ionosfer dan banyak lagi yang sebelumnya hanya ditemukan pada komputer kerangka besar yang tersedia bagi para peneliti dan ilmuwan. PROPLAB PRO adalah satu-satunya perangkat lunak propagasi di dunia untuk IBM atau komputer pribadi yang kompatibel yang akan menunjukkan kepada Anda perilaku sinyal radio yang tepat saat mereka melakukan perjalanan melalui ionosfer. Secara efektif mensimulasikan transmisi radio ke ionosfer

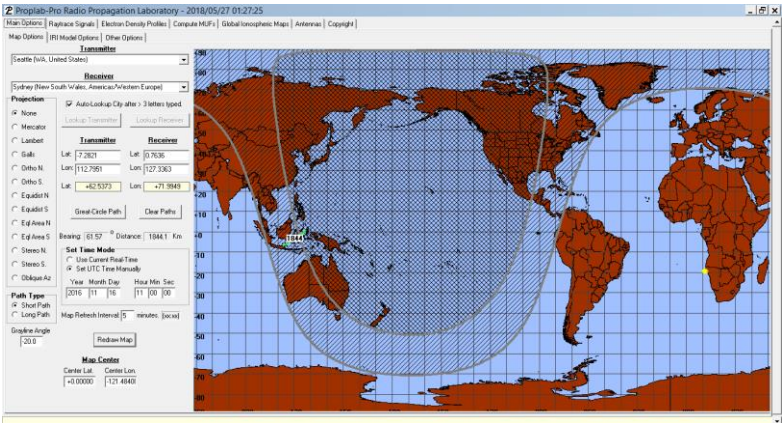
dengan tingkat akurasi yang tinggi dengan menggunakan teknik *ray-tracing*.



Gambar 3.2 Software Proplab Pro 3.0

3.5 Melakukan Simulasi Proplab

Langkah selanjutnya setelah kita menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan adalah melakukan simulasi. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan data *signal strength*. Selain itu simulasi dilakukan untuk mengetahui berapa banyak lintasan yang terjadi pada satu *link*. Lintasan-lintasan tersebut bisa berupa dua *hop*, tiga *hop*, empat *hop*, atau lebih.

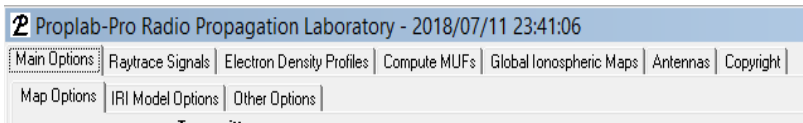


Gambar 3.3 Tampilan Utama Proplab

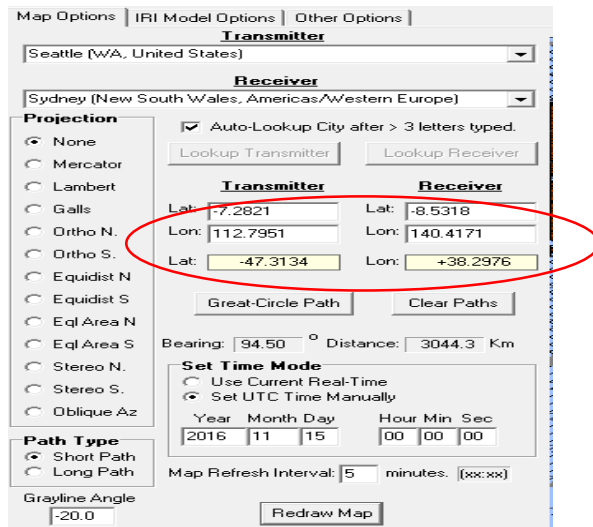
### 3.5.1 Memasukkan Parameter pada Proplab

Proplab merupakan sebuah program/alat komunikasi radio pada ionosfer yang digunakan untuk mendiagnosis beberapa masalah propagasi radio yang terjadi pada kehidupan sehari-hari. Untuk memulai menggunakan *Proplab*, berikut ini adalah langkah-langkah yang harus dilakukan:

- a. Terdapat beberapa menu pada proplab seperti yang terlihat pada Gambar 3.4. Memasukkan parameter *latitude* dan *longitude* pemancar serta penerima terletak pada sub menu Map Options seperti Gambar 3.5




Gambar 3.4 Tampilan Menu Pada Proplab



Gambar 3.5 Tampilan Kolom *Map Options* pada *Proplab*

- b. Selanjutnya pada kolom *IRI Model Options*, isi nilai *Sunspot Number*, *IG Index*, dan *Solar Flux* sesuai hari dilakukannya pengamatan. Data-data *IRI Model* dapat diperoleh dengan mengakses <http://www.sws.bom.gov.au/Solar/1/6>. Pengisian data-data *sunspot number* bisa dilihat seperti Gambar 3.6

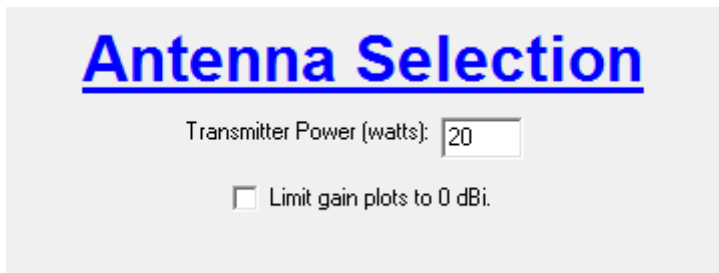


2007 International Reference Ionosphere Model Options

Running 12-Month Mean Sunspot Number:  IG Index (Eff. SSN):  10.7cm Solar Flux:

. **Gambar 3.6** Tampilan kolom *IRI Model* pada *Proplab*

- c. Selanjutnya klik kolom *Antennas*. Pilih jenis antenna yang digunakan. Pilih antenna yang digunakan seperti pada Gambar 3.8. Pada tugas akhir ini digunakan antenna *Vertical Monopole*. Isi *Transmitter-Receiver Azimuth* (sesuai dengan nilai bearing yang didapatkan pada kolom *Map-Options*). Selanjutnya isi pula daya pancar yang dipakai seperti pada Gambar 3.7

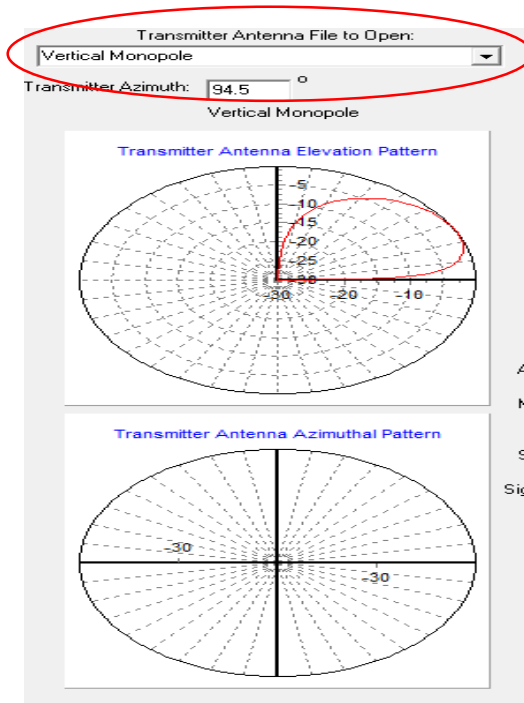


**Antenna Selection**

Transmitter Power (watts):

☐ Limit gain plots to 0 dBi.

**Gambar 3.7** Memasukkan Daya Pancar yang Diinginkan



**Gambar 3.8** Melakukan Pemilihan Antena

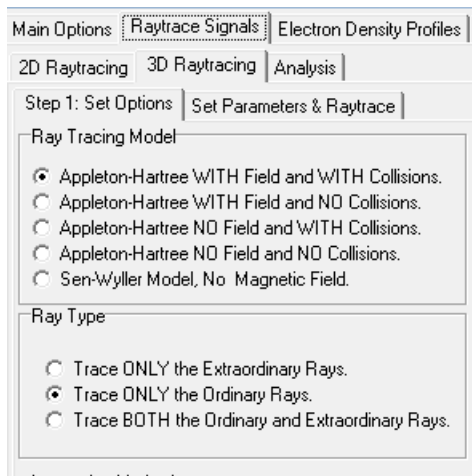
### 3.6 Menjalankan Simulasi

#### 3.6.1 Memasukkan Parameter Raytracing

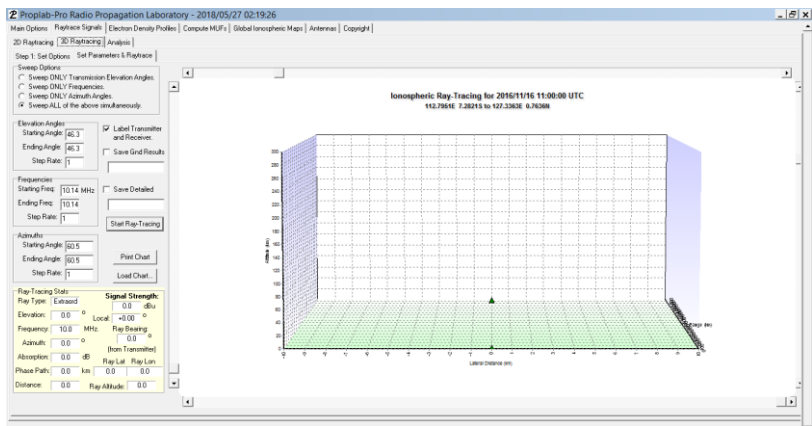
Setelah memasukkan parameter-parameter utama, selanjutnya adalah melakukan simulasi. Proses simulasi berada pada Menu *Raytrace Signal* seperti yang terlihat pada Gambar 3.9. Pada menu *Raytrace Signal* terdapat beberapa sub menu yaitu 2D tracing, 3D tracing, dan analysis.

Pada tugas akhir ini menggunakan simulasi prolab 3D. setelah dipilih tracing 3D, terdapat dua kolom lagi yaitu *Set Options* yang berfungsi untuk memilih tipe *ray* yang akan disimulasikan. Tipe *ray* ada dua yaitu *ordinary* dan *extraordinary*. Sedangkan kolom lainnya adalah *Set parameters and Raytrace* yaitu kolom dimana simulasi akan

ditampilkan. Tampilan menu Set Parametrs and Raytrace dapat dilihat seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.9 Tampilan Kolom *Raytrace Signal* Pada *Proplab*



Gambar 3.10 Tampilan Kolom Set Parameters and Raytrace



- a. Mengisi sudut elevasi serta sudut azimuth yang akan disimulasikan. Sudut elevasi dapat diisi dari  $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ , sedangkan sudut azimuth dapat diisi dari  $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$ . Selain itu juga terdapat kolom frekuensi yang harus diisi dengan frekuensi kerja yang sudah dipilih. Pengisian parameter dapat dilihat seperti Gambar 3.11. Gambar 3.11 adalah contoh pengisian parameter yang digunakan untuk simulasi Surabaya-Ternate pada tanggal 15 November 2016. Sudut Azimuth yang digunakan sekitar sudut *bearing link* Surabaya-Ternate, dimana sudut bearing *link* Surabaya-Ternate adalah  $61.57^{\circ}$ .

Step 1: Set Options    Set Parameters & Raytrace

Sweep Options

- ☐ Sweep ONLY Transmission Elevation Angles.
- ☐ Sweep ONLY Frequencies.
- ☐ Sweep ONLY Azimuth Angles.
- ☒ Sweep ALL of the above simultaneously.

Elevation Angles

Starting Angle: 30

Ending Angle: 45

Step Rate: 1

Frequencies

Starting Freq: 10.14 MHz

Ending Freq: 10.14

Step Rate: 1

Azimuths

Starting Angle: 56

Ending Angle: 56

Step Rate: 1

☒ Label Transmitter and Receiver.

☐ Save Gnd Results

☐ Save Detailed

Start Ray-Tracing

Print Chart

Load Chart...

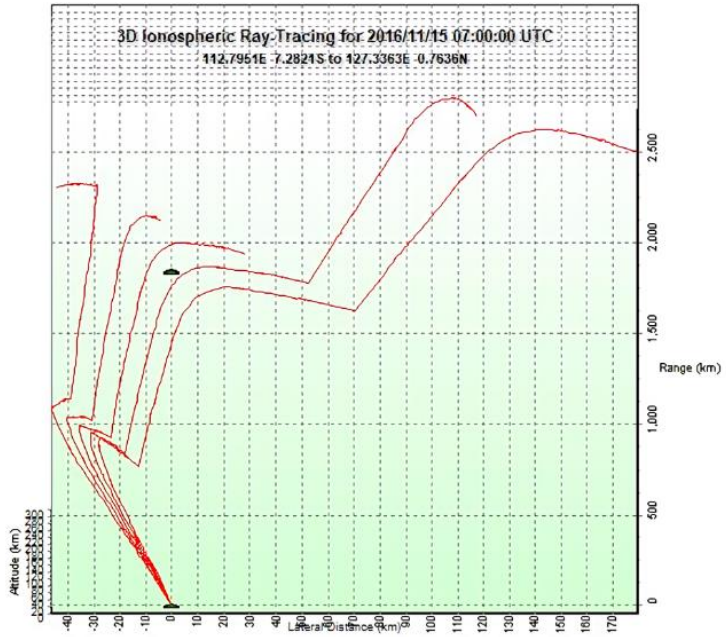
**Gambar 3.11** Memasukkan Sudut Elevasi, Sudut Azimuth, dan Frekuensi

- b. Setelah selesai mengisi semua parameter, maka klik Save Gnd Results untuk menyimpan hasil simulasi. selanjutnya klik Start Ray Tracing untuk memulai proses simulasi.

### 3.6.2 Proses Simulasi 3D

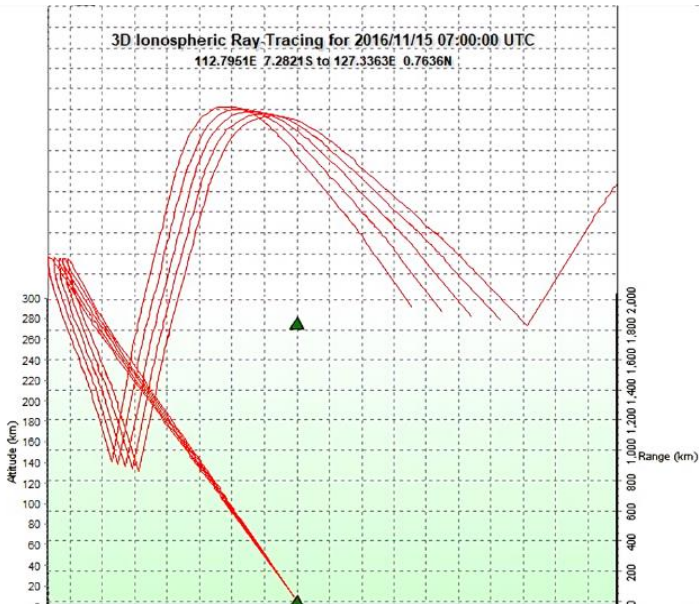
Simulasi 3D dilakukan untuk mendapatkan data yang lebih akurat dan presisi. Data yang didapatkan dalam simulasi 3D berupa *Distance* (jarak yang ditempuh sinyal selama proses transmisi), *Height* (estimasi ketinggian sinyal hingga memantul pada lapisan ionosfer), *Signal Strength* (daya sinyal pada penerima), *Elevation Angles* (sudut elevasi), *Azimuth* dan *Hops* (jumlah *hop* yang sampai hingga tujuan). Data yang dihasilkan dari simulasi selanjutnya akan diolah untuk didapatkan nilai korelasi antara satu link dengan link lainnya. Proses-proses untuk mendapatkan sinyal yang diterima adalah sebagai berikut :

- a. Mula-mula kita melakukan *scanning* kira-kira pada sudut berapa sinyal jatuh mendekati penerima. Pada Gambar 3.12 merupakan salah satu contoh hasil simulasi yang dilakukan pada link Surabaya-Ternate tanggal 15 November 2016. Sudut elevasi yang dimasukkan adalah  $30^\circ$  sampai  $45^\circ$  dengan *step rate* 3. Sinyal yang paling kiri yaitu saat sudut elevasi  $30^\circ$ , sinyal berupa 2F dan jatuhnya masih jauh dari penerima. Selanjutnya berturut-turut kekanan adalah sinyal dengan sudut elevasi  $33^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $39^\circ$ , dan  $42^\circ$ . Pada hasil simulasi didapatkan bahwa sinyal akan memantul kembali setelah dua pantulan saat dipancarkan dengan sudut elevasi  $39^\circ$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa sinyal 2F jatuh mendekati penerima dengan *range* sudut elevasi antara  $36^\circ$ - $39^\circ$ .
- b. Selanjutnya dilakukan *scanning* lagi untuk mendapatkan titik sinyal jatuh yang lebih presisi. *Scanning* dilakukan dengan memasukkan sudut elevasi dari  $36^\circ$ - $39^\circ$  dengan *step rate* 0.5. Hasil *scanning* terdapat pada Gambar 3.14 . dari hasil tersebut maka bisa lebih dikecilkan lagi kemungkinan jatuh sinyal tepatnya terjadi pada sudut elevasi berapa. Pada gambar tersebut sinyal paling kiri adalah sinyal jatuh saat sudut  $36^\circ$ , sebelah kanannya adalah sinyal saat sudut elevasi  $36.5^\circ$ , berturut-turut dengan kelipatan 0.5° sampai  $39^\circ$ . Dari gambar tersebut dapat dikerucutkan lagi bahwa sinyal jatuh diantara sudut  $37.5^\circ$  sampai  $39^\circ$ . Selanjutnya dilakukan *scanning* untuk mendapatkan sinyal yang jatuhnya paling dekat dengan penerima.



**Gambar 3.12** Scanning Awal Untuk Mendapatkan Sudut Elevasi yang Tepat

- c. Pada Gambar 3.14 sudut azimuth yang dipakai adalah  $56^\circ$ . Terlihat bahwa titik jatuh sinyal masih jauh kekanandari penerima. Maka dari itu jika sudah didapatkan sudut elevasi yang tepat maka langkah selanjutnya adalah melakukan scanning pada sudut azimuth. Hasil scanning sudut azimuth bisa dilihat pada Gambar 3.15, dimana sudah didapatkan hasil sudut elevasi adalah sekitar  $37.6^\circ$  untuk simulasi *link* Surabaya-ternate pukul 14.00 WIB. Gambar 3.15 sudut azimuth mulai di *tracing* dari  $54.7^\circ$ - $55.1^\circ$  dengan *step rate* sebesar  $0.1^\circ$ .



**Gambar 3.13** Hasil Scanning sudut elevasi  $36^{\circ}$ - $39^{\circ}$

- d. Setelah didapatkan sudut elevasi serta sudut azimuth yang sesuai. Maka untuk mendapatkan data yang lebih presisi lagi, dapat dilakukan simulasi dengan *scanning* sudut elevasi yang lebih kecil. Hasil dari *scanning* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.15. Selanjutnya hasil dari simulasi pada Gambar 3.15 akan di *convert* ke bentuk .txt dan akan dilakukan pemilihan sinyal yang jatuh paling dekat dengan penerima.

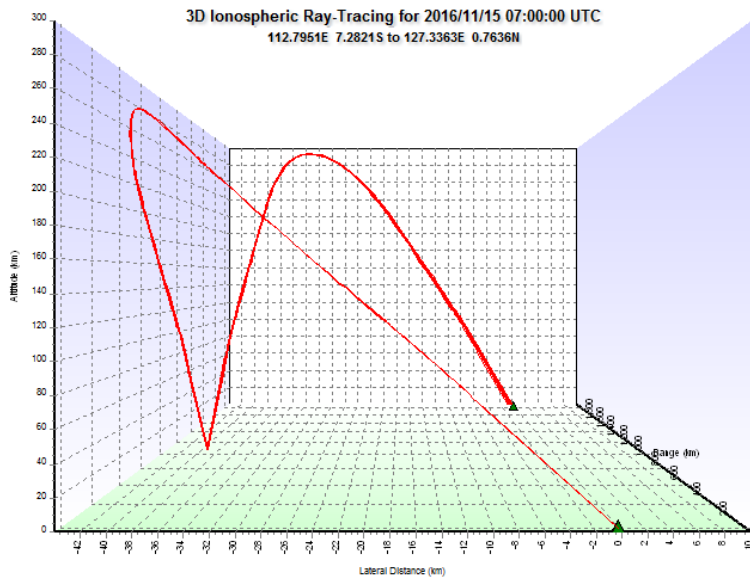


**Gambar 3.14** Scanning Sudut Azimuth dari  $54.7^{\circ}$ - $55.1^{\circ}$  Saat Sudut Elevasi Sebesar  $37.6^{\circ}$  untuk Link S-T pukul 14.00 WIB Tanggal 15 November 2016

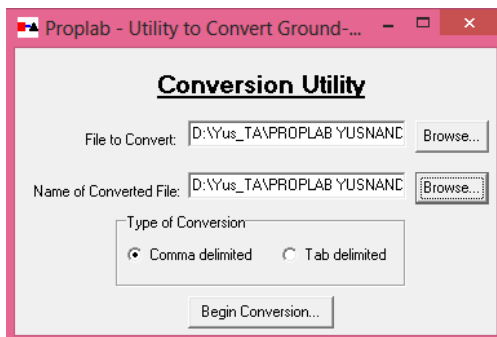
### 3.6.3 Konversi Data Simulasi

Data yang didapatkan dari simulasi masih dalam bentuk *file.ryg*. Untuk dapat melihat hasilnya maka harus dilakukan konversi ke bentuk *file.txt*. Untuk mengkonversi tersebut dibutuhkan sebuah program bawaan dari *Proplab*. Program tersebut adalah *Proplab – Utility to Convert Ground*.

Terdapat dua pilihan untuk tampilan hasil konversi yaitu *comma delimited* dan *tab delimited*. Untuk *comma delimited* maka hasil konversi akan dipisahkan dengan koma, namun untuk *tab delimited* hasil konversi akan dipisahkan menggunakan spasi.



**Gambar 3.15** Melakukan Scanning yang Lebih Teliti dengan Sudut Azimuth  $37.5^{\circ}$ - $37.6^{\circ}$  dan Sudut Azimuth sebesar  $54.75^{\circ}$



**Gambar 3.16** Program *Proplab - Utility to Convert Ground*

### 3.7 Menentukan Titik Jatuh Sinyal

Sinyal yang dikirimkan oleh *transmitter* pada simulasi 3D akan terlihat mendekati titik tujuan atau bahkan mengenai tepat pada titik tujuan. Dengan mengonversi *file .ryg* menjadi *.txt*, kita dapat mengetahui dengan pasti seberapa jauh sinyal tersebut jatuh terhadap titik tujuan. Untuk menghitung jarak antar dua lokasi maka dapat menggunakan persamaan (2.10)

Pada proplab jarak Surabaya-Ternate sebesar 1844.1 km seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.17

| Transmitter                                      |                                       | Receiver   |                                       |
|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| Lat:   | <input type="text" value="-7.2821"/>  | Lat:   | <input type="text" value="0.7636"/>   |
| Lon:   | <input type="text" value="112.7951"/> | Lon:   | <input type="text" value="127.3363"/> |
| Lat:   | <input type="text" value="+11.4925"/> | Lon:   | <input type="text" value="+59.0776"/> |
| <input type="button" value="Great-Circle Path"/> |                                       | <input type="button" value="Clear Paths"/>       |                                       |
| Bearing: <input type="text" value="61.57"/> °    |                                       | Distance: <input type="text" value="1844.1"/> Km |                                       |

**Gambar 3.17** Jarak Surabaya-Ternate Pada Proplab

Jika digunakan persamaan (2.10) untuk menghitung jarak dua lokasi dengan menggunakan *latitude* dan *longitude* maka didapatkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 X &= R_{earth} \times \text{Acos}(\sin lat_1 \times \sin lat_2 + \cos lat_1 \times \cos lat_2 \times \cos(lon_1 - lon_2)) \\
 X &= 6371 \times \text{Acos}(\sin(\text{rad}(-7.2821)) \times \sin(\text{rad}(0.7636)) + \cos(\text{rad}(-7.2821)) \\
 &\quad \times \cos(\text{rad}(0.7636)) \times \cos(\text{rad}(112.7951) - \text{rad}(127.3363))) \\
 X &= 1844.437 \text{ Km}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas bisa dilihat bahwa terdapat sedikit perbedaan antara perhitungan kalkulator dengan hasil proplab dengan nilai error sebesar

$$\% \text{ error} = \frac{(X_{manual} - X_{proplab})}{X_{manual}} \times 100 = \frac{1844.437 - 1844.1}{1844.437} \times 100$$

$$\%error = 0.00018\%$$

### 3.8 Pembangkitan Fase

Setiap sinyal yang sampai menuju penerima mempunyai nilai fase yang berbeda-beda. Untuk membangkitkan nilai fase dari data simulasi maka digunakan persamaan (2.11).

### 3.9 Pencampuran Ordinary wave dengan Extraordinary wave

Ketika gelombang pertama memasuki ionosfer, gelombang akan terbagi menjadi dua gelombang, *Ordinary* (O) dan *Extraordinary* (X). Kedua gelombang akan menyebar secara bebas, berjalan ke tempat tujuan beriringan dan tidak saling mengganggu satu sama lain [8].

Setiap gelombang tersebut memiliki kekuatan sinyal dan fase yang berbeda. Untuk mendapatkan total kuat sinyal maka dilakukan pencampuran kuat sinyal antara keduanya. Sebelumnya kita harus menghitung kuat sinyal masing-masing gelombang karena tiap gelombang mempunyai fase yang berbeda. Untuk menghitung kuat sinyal total maka dapat menggunakan persamaan (2.4) dan (2.5).

### 3.10 Perhitungan Koefisien Korelasi

Setelah mendapatkan nilai  $V_{total}$ , maka tahap selanjutnya adalah mencari koefisien korelasi antar lintasan. Nilai koefisien korelasi antar lintasan ini bertujuan untuk mengetahui apakah antar lintasan saling berkorelasi atau sebaliknya tidak saling berkorelasi. Terdapat tiga buah koefisien korelasi link yang akan didapatkan yaitu korelasi lintasan Surabaya-Merauke dengan lintasan Surabaya-Biak, koefisien korelasi lintasan Surabaya-Merauke dengan lintasan Surabaya-Ternate, dan koefisien korelasi antara lintasan Surabaya-Biak dengan lintasan Surabaya-Ternate. Untuk menghitung nilai koefisien korelasi maka dapat digunakan persamaan (2.6) .



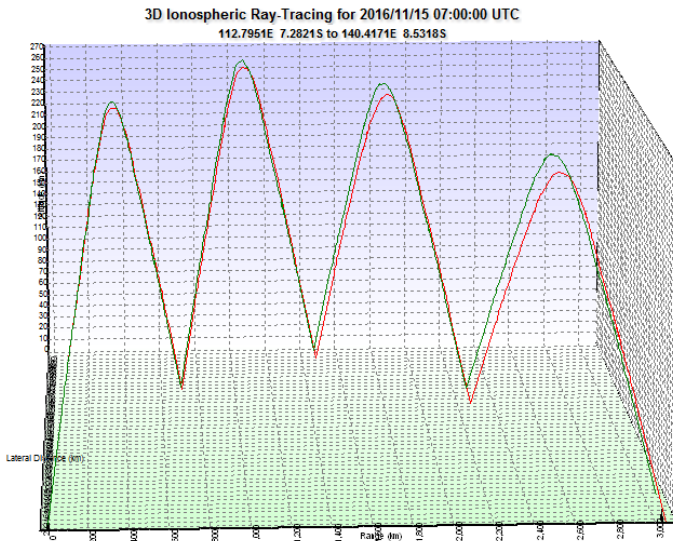
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan analisa hasil simulasi sesuai dengan langkah-langkah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Bab ini akan menjelaskan tentang analisa hasil simulasi dan keterkaitannya dengan teori yang ada sehingga didapatkan kesimpulan.

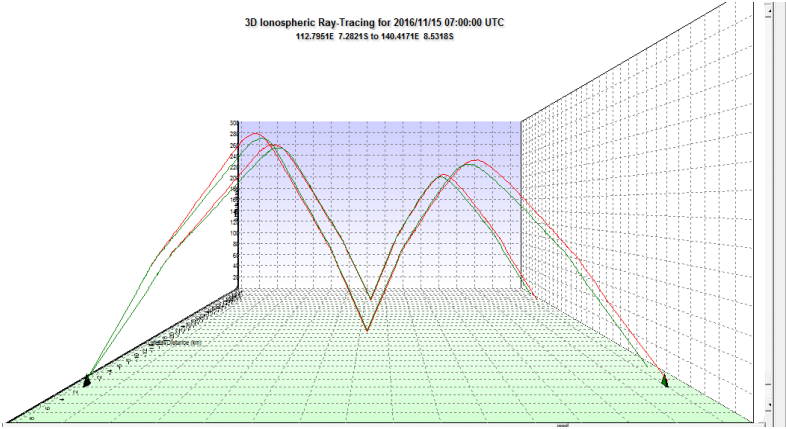
#### 4.1 Hasil Simulasi

Hasil simulasi Proplab dapat dilihat pada Gambar 4.1. pada Gambar tersebut menunjukkan bahwa gelombang membutuhkan 4-hop untuk sampai ke penerima. Gelombang berwarna merah menunjukkan gelombang ordinary sedangkan gelombang warna hijau merupakan gelombang extraordinary. Sedangkan pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa gelombang membutuhkan 2-hop untuk sampai ke penerima.



**Gambar 4.1** Lintasan 4F link Surabaya-Merauke

Dari hasil simulasi, didapatkan bahwa *link* Surabaya-Merauke mempunyai 3 lintasan yaitu 2F,3F, dan 4F. Sedangkan *link* Surabaya-Biak dan *link* Surabaya-Ternate mempunyai 2 lintasan yaitu 2F dan 3F. Untuk lebih jelasnya data mode propagasi yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 4.1



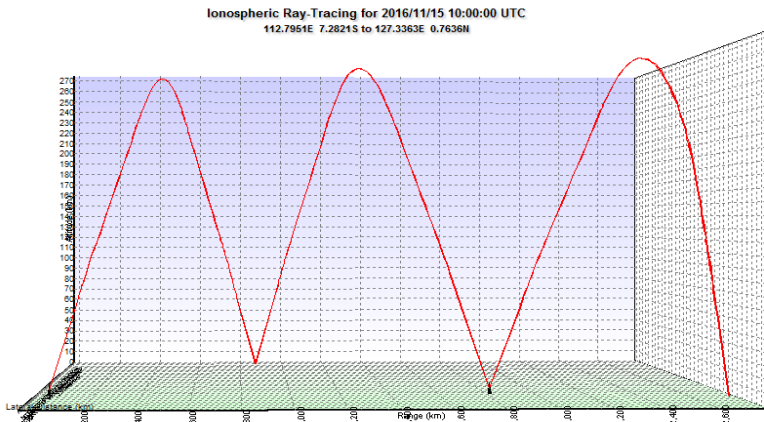
**Gambar 4.2** Lintasan 2F *link* Surabaya-Merauke

**Tabel 4.1** Lintasan yang didapatkan tiap link

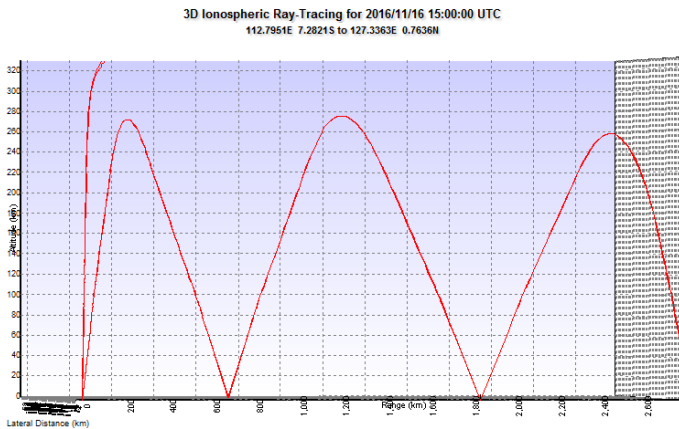
| Link               | Jumlah Lintasan |
|--------------------|-----------------|
| Surabaya – Merauke | 2F, 3F, 4F      |
| Surabaya – Biak    | 2F, 3F          |
| Surabaya – Ternate | 2F, 3F          |

Pada Gambar 4.3 menunjukkan titik jatuh sinyal sangat jauh dari penerima. Sehingga harus dilakukan pencarian sudut elevasi serta azimuth agar sinyal dapat jatuh tepat atau berdekatan ke penerima.

Pada Lampiran C Tabel 7, dapat dilihat pada data pukul 21.00 tertulis 0 pada data kuat sinyal untuk *Ordinary*. Hal ini dikarenakan sinyal tidak dipantulkan lagi oleh ionosfer seperti pada Gambar 4.4, sehingga tidak ada sinyal yang diterima oleh penerima.



**Gambar 4.3** Titik Jatuh Sinyal Jauh Dari Penerima



**Gambar 4.4** Sinyal Menembus Lapisan Ionosfer

Pada Gambar 4.4 dapat dijelaskan bahwa Setiap *link* memiliki nilai sudut kritis masing-masing. Hal ini dikarenakan jarak tiap *link* yang berbeda . Karena pengaruh ionosfer, nilai frekuensi kritis akan tinggi saat siang hari namun mengalami penurunan saat malam hari. Pada malam hari frekuensi kerja yang digunakan lebih besar dari frekuensi kritis,

sehingga sinyal yang dikirimkan akan diteruskan menembus lapisan ionosfer dan tidak dipantulkan kembali.

Setelah mendapatkan semua data dari simulasi 3D. Selanjutnya hasil file.ryg tersebut dikonversikan ke format file.txt . hasil dari konversi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

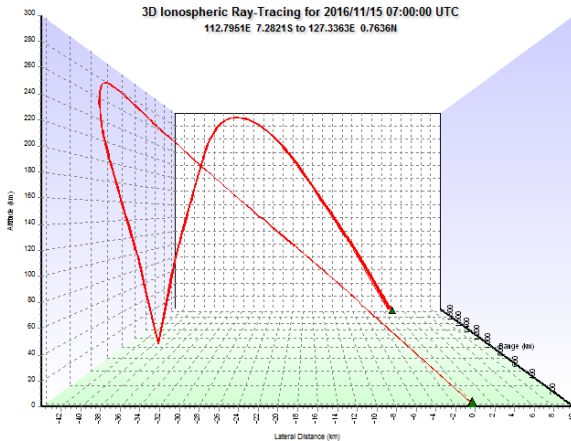
**Tabel 4.2** Data Hasil Konversi dari Proplab

| Type | Distance (km) | Lat (deg) | Lot (deg) | Signal Strength $dB\mu V$ | Elevation | Total Distance (Km) | Hops |
|------|---------------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|---------------------|------|
| 1    | 879.158       | -3.167    | 119.577   | 14.838                    | 37.500    | 1066.211            | 1    |
| 1    | 1854.796      | 0.816     | 127.417   | 5.393                     | 37.500    | 2222.356            | 2    |
| 1    | 878.908       | -3.168    | 119.576   | 14.839                    | 37.510    | 1066.008            | 1    |
| 1    | 1854.344      | 0.813     | 127.414   | 5.399                     | 37.510    | 2222.071            | 2    |
| 1    | 878.622       | -3.170    | 119.573   | 14.837                    | 37.520    | 1065.733            | 1    |
| 1    | 1853.778      | 0.809     | 127.410   | 5.397                     | 37.520    | 2221.568            | 2    |
| 1    | 878.327       | -3.171    | 119.571   | 14.844                    | 37.530    | 1065.559            | 1    |
| 1    | 1853.182      | 0.806     | 127.406   | 5.404                     | 37.530    | 2221.147            | 2    |
| 1    | 878.024       | -3.173    | 119.569   | 14.845                    | 37.540    | 1065.302            | 1    |
| 1    | 1852.631      | 0.803     | 127.402   | 5.405                     | 37.540    | 2220.697            | 2    |
| 1    | 877.762       | -3.174    | 119.567   | 14.847                    | 37.550    | 1065.085            | 1    |
| 1    | 1852.213      | 0.800     | 127.399   | 5.406                     | 37.550    | 2220.354            | 2    |
| 1    | 877.469       | -3.176    | 119.565   | 14.848                    | 37.560    | 1064.836            | 1    |
| 1    | 1851.650      | 0.797     | 127.395   | 5.407                     | 37.560    | 2219.887            | 2    |

*Distance* merupakan jarak jatuh sinyal dihitung dari pemancar. *Lat* dan *Lot* merupakan titik pasti dari jatuhnya sinyal. *Signal Strength* merupakan kuat sinyal yang diterima. *Total Distance* merupakan jarak total yang ditempuh sinyal dari penerima berjalan menuju ionosfer lalu dipantulkan menuju penerima. *Type* sinyal *ordinary* memiliki tanda nilai 1 sedangkan *type* sinyal *extraordinary* memiliki tanda nilai -1. Dari data pada Tabel 4.2 juga dapat dilihat bahwa saat menggunakan sudut elevasi

sebesar  $37.5^\circ$ , sinyal dipantulkan oleh tanah untuk pertama kali saat berjarak 879.158 Km dari penerima lalu sinyal berhenti di jarak 1854.796 Km dari penerima.

## 4.2 Perhitungan Titik Jatuh Sinyal



**Gambar 4.5** Hasil Simulasi Surabaya-Ternate 15 November pukul 14.00 WIB

Setelah mendapatkan hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5, maka selanjutnya adalah menentukan titik jatuh sinyal berdasarkan persamaan (2.10). Dari semua simulasi yang dilakukan secara 3D akan memperlihatkan ketepatan jatuhnya sinyal yang dikirim dengan titik tujuan. Dengan menggunakan persamaan (2.10) maka akan didapatkan radius titik jatuh sinyal. Radius titik jatuh sinyal tersebut nantinya akan digunakan untuk menentukan sinyal tersebut diterima atau tidak pada sisi penerima. Letak *latitude* dan *longitude* dari simulasi dapat dilihat serta hasil perhitungan jarak sinyal jatuh dengan penerima dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Pada tabel 4.2, X merupakan jarak titik jatuh sinyal dari penerima. Setelah diketahui nilai X sinyal-sinyal tersebut nantinya akan diseleksi lagi guna mencari nilai terdekat titik jatuh sinyal terhadap titik penerima sehingga dapat digunakan untuk melakukan proses selanjutnya untuk mencari parameter-parameter yang dibutuhkan.

**Tabel 4.3** Hasil Perhitungan Titik Jatuh Sinyal ST 15 November

| Lintasan                     | Jam          | Lat Sinyal Jatuh (deg) | Lot Sinyal Jatuh (deg) | Lat Penerima Ternate (deg) | Lot Penerima Ternate (deg) | X (Km)  |
|------------------------------|--------------|------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|---------|
| ST<br>(Surabaya-<br>Ternate) | 14.00<br>WIB | 0.8157                 | 127.416                | 0.7636                     | 127.336                    | 10.6722 |
|                              |              | 0.8126                 | 127.413                | 0.7636                     | 127.336                    | 10.2120 |
|                              |              | 0.8093                 | 127.409                | 0.7636                     | 127.336                    | 9.64108 |
|                              |              | 0.8060                 | 127.405                | 0.7636                     | 127.336                    | 9.04241 |
|                              |              | 0.8029                 | 127.401                | 0.7636                     | 127.336                    | 8.48941 |
|                              |              | 0.8001                 | 127.399                | 0.7636                     | 127.336                    | 8.06718 |
|                              |              | 0.7969                 | 127.394                | 0.7636                     | 127.336                    | 7.50374 |

### 4.3 Perhitungan Nilai Kuat Sinyal

Langkah selanjutnya adalah Kuat sinyal dari hasil simulasi masih dalam satuan dB $\mu$ V sehingga harus dirubah kedalam satuan Volt (V) dengan menggunakan persamaan 4.1.

$$V_p = 10^{\frac{V_{dB\mu V}}{20}} \times 10^{-6} \quad (4.1)$$

Tabel 4.4, 4.5, 4.6 merupakan data kuat sinyal dalam volt. “O” merupakan kuat sinyal *ordinary* dan “X” merupakan kuat sinyal *extraordinary*. Pada lintasan Surabaya-Merauke terdapat 3 mode propagasi. Sehingga terdapat enam data kuat sinyal tiap jam. Kuat sinyal masing-masing gelombang tersebut akan ditotal untuk selanjutnya didapatkan nilai korelasi.

Dari Tabel 4.4 , Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 dapat dilihat untuk mode 2F dan 3F, mengalami nilai kuat sinyal yang cenderung naik. Begitu pula dengan mode 4F, semakin malam maka kuat sinyal yang diterima pada sisi penerima semakin besar(puncaknya pada pukul 21.00 WIB). Pada mode 4F terjadi penurunan sinyal setelah pukul 21.00 WIB , hal ini sesuai dengan teori dimana kondisi ionosfer mengalami penurunan kerapatan elektron dimulai dari malam hari dan terus memburuk hingga fajar sehingga berpengaruh pada propagasi gelombang radio HF.

**Tabel 4.4** Data Kuat Sinyal SM Mode 2F

| SM(Surabaya-Merauke) 2F |            |           |            |           |            |           |
|-------------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| Jam                     | 15/11/2016 |           | 16/11/2016 |           | 17/11/2016 |           |
|                         | O (Volt)   | X (Volt)  | O (Volt)   | X (Volt)  | O (Volt)   | X (Volt)  |
| 14                      | 4.866E-07  | 4.510E-07 | 4.908E-07  | 4.556E-07 | 4.888E-07  | 4.524E-07 |
| 15                      | 6.708E-07  | 6.378E-07 | 6.705E-07  | 6.374E-07 | 6.683E-07  | 6.353E-07 |
| 16                      | 9.518E-07  | 9.250E-07 | 9.456E-07  | 9.190E-07 | 9.446E-07  | 9.178E-07 |
| 17                      | 2.061E-06  | 2.048E-06 | 2.008E-06  | 1.992E-06 | 1.992E-06  | 1.976E-06 |
| 18                      | 2.269E-06  | 2.269E-06 | 2.251E-06  | 2.251E-06 | 2.249E-06  | 2.249E-06 |
| 19                      | 2.286E-06  | 2.286E-06 | 2.271E-06  | 2.271E-06 | 2.275E-06  | 2.276E-06 |
| 20                      | 2.288E-06  | 2.288E-06 | 2.282E-06  | 2.282E-06 | 2.289E-06  | 2.288E-06 |
| 21                      | 2.261E-06  | 2.258E-06 | 2.275E-06  | 2.263E-06 | 2.252E-06  | 2.250E-06 |
| 22                      | 2.293E-06  | 2.307E-06 | 2.303E-06  | 2.307E-06 | 2.275E-06  | 2.273E-06 |

**Tabel 4.5** Data Kuat Sinyal SM Mode 3F

| SM(Surabaya-Merauke) 3F |            |           |            |           |            |           |
|-------------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| Jam                     | 15/11/2016 |           | 16/11/2016 |           | 17/11/2016 |           |
|                         | O (Volt)   | X (Volt)  | O (Volt)   | X (Volt)  | O (Volt)   | X (Volt)  |
| 14                      | 4.201E-07  | 3.755E-07 | 4.908E-07  | 4.556E-07 | 6.821E-07  | 6.102E-07 |
| 15                      | 2.733E-07  | 2.547E-07 | 6.705E-07  | 6.374E-07 | 4.305E-07  | 9.309E-07 |
| 16                      | 8.812E-07  | 8.463E-07 | 9.456E-07  | 9.190E-07 | 1.394E-06  | 1.338E-06 |
| 17                      | 1.179E-06  | 2.048E-06 | 2.008E-06  | 1.992E-06 | 1.169E-06  | 1.155E-06 |
| 18                      | 1.296E-06  | 1.298E-06 | 2.251E-06  | 2.251E-06 | 1.304E-06  | 5.236E-07 |
| 19                      | 1.311E-06  | 1.312E-06 | 2.271E-06  | 2.271E-06 | 1.308E-06  | 1.309E-06 |
| 20                      | 1.292E-06  | 1.301E-06 | 2.282E-06  | 2.282E-06 | 1.312E-06  | 1.312E-06 |
| 21                      | 5.642E-07  | 5.545E-07 | 2.275E-06  | 2.263E-06 | 1.310E-06  | 1.318E-06 |
| 22                      | 8.355E-07  | 2.040E-06 | 2.303E-06  | 2.307E-06 | 1.319E-06  | 1.322E-06 |

**Tabel 4.6** Data Kuat Sinyal SM Mode 4F

| SM(Surabaya-Merauke) 4F |            |           |            |           |            |           |
|-------------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| Jam                     | 15/11/2016 |           | 16/11/2016 |           | 17/11/2016 |           |
|                         | O (Volt)   | X (Volt)  | O (Volt)   | X (Volt)  | O (Volt)   | X (Volt)  |
| 14                      | 2.533E-07  | 2.182E-07 | 2.541E-07  | 2.183E-07 | 2.547E-07  | 2.197E-07 |
| 15                      | 3.890E-07  | 3.523E-07 | 5.695E-07  | 5.155E-07 | 5.678E-07  | 5.139E-07 |
| 16                      | 5.749E-07  | 5.450E-07 | 5.786E-07  | 5.481E-07 | 5.805E-07  | 5.496E-07 |
| 17                      | 1.655E-06  | 1.633E-06 | 1.044E-06  | 1.031E-06 | 1.648E-06  | 1.624E-06 |
| 18                      | 1.838E-06  | 1.809E-06 | 1.159E-06  | 1.141E-06 | 1.158E-06  | 4.106E-07 |
| 19                      | 1.825E-06  | 1.827E-06 | 1.164E-06  | 1.166E-06 | 1.838E-06  | 1.833E-06 |
| 20                      | 1.844E-06  | 1.844E-06 | 1.168E-06  | 1.169E-06 | 1.177E-06  | 1.178E-06 |
| 21                      | 1.885E-06  | 1.889E-06 | 1.177E-06  | 1.180E-06 | 1.872E-06  | 1.877E-06 |
| 22                      | 8.355E-07  | 2.040E-06 | 4.156E-07  | 4.156E-07 | 4.156E-07  | 4.156E-07 |

Selain itu, dapat dilihat pula bahwa terjadi penurunan nilai kuat sinyal dari mode 2F ke 3F dan 4F dalam waktu yang sama, hal ini disebabkan karena setiap sinyal akan teredam tiap dipantulkan oleh ionosfer atau bumi.

#### 4.4 Perhitungan Fase

Setiap gelombang radio yang ditransmisikan, antara satu gelombang dengan gelombang lain akan mempunyai perbedaan fase. Fase tersebut akan mempengaruhi besar kuat sinyal total masing-masing gelombang. Untuk menghitung fase dari sebuah gelombang dapat menggunakan persamaan (2.11) . Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Bisa dilihat pada Tabel 4.7 bahwa setiap sinyal menempuh total jarak yang berbeda, sehingga nilai fase tiap sinyal bervariasi. Semakin tinggi mode propagasi maka akan semakin menempuh jarak yang panjang pula untuk sampai ke penerima.



**Tabel 4.7** Perhitungan Fase Surabaya-Merauke 15 November

| Lintasan                 | Jam (WIB) | Mode | Total Jarak (meter) | Fase (Radian) |
|--------------------------|-----------|------|---------------------|---------------|
| SM<br>(Surabaya-Merauke) | 14        | 2F   | 3288346.68          | 5.805246857   |
|                          |           |      | 3291566.65          | 5.10534619    |
|                          |           | 3F   | 3470671.631         | 3.429831324   |
|                          |           |      | 3468542.48          | 3.42486781    |
|                          |           | 4F   | 3783575.684         | 5.768487581   |
|                          |           |      | 3783187.012         | 4.865912648   |

#### 4.5 Perhitungan Total Kuat Sinyal

Setiap sinyal yang dipancarkan akan membagi menjadi dua buah sinyal yaitu *ordinary*(O) dan *extraordinary*(X). Kuat sinyal total merupakan campuran dari kuat sinyal *ordinary* dan *extraordinary* yang terjadi pada satu waktu. Untuk mendapatkan besar kuat sinyal total dapat dihitung menggunakan persamaan (2.4) dan (2.5). Data hasil perhitungan kuat sinyal ditunjukkan pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Perhitungan Kuat Sinyal (V) Total 15 November

| Jam | Vtotal S-M (Volt)<br>(1e-05) | Vtotal S-B (Volt)<br>(1e-05) | Vtotal S-T (Volt)<br>(1e-05) |
|-----|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 14  | -0.0350 - 0.0192i            | 0.1475 - 0.0503i             | -0.0635 + 0.0694i            |
| 15  | 0.0014 + 0.0420i             | 0.1054 - 0.0525i             | 0.0964 - 0.0072i             |
| 16  | -0.1554 - 0.2799             | 0.2693 - 0.0819i             | -0.0542 + 0.0127i            |
| 17  | -0.3287 + 0.1483i            | 0.2177 - 0.1334i             | 0.0084 + 0.0315i             |
| 18  | -0.2563 - 0.5363i            | -0.2231 + 0.1202i            | -0.0787 - 0.0634i            |
| 19  | 0.4973 - 0.1272i             | 0.2602 - 0.2561i             | 0.0275 - 0.3050i             |
| 20  | -0.0240 - 0.5215i            | 0.0823 + 0.1175i             | 0.0262 - 0.0797i             |
| 21  | 0.0977 - 0.4110i             | -0.1021 + 0.2050i            | 0.1155 + 0.0159i             |
| 22  | -0.2225 + 0.6976i            | 0.2211 - 0.0266i             | -0.0895 + 0.0152i            |

Tabel 4.8 menunjukkan nilai dari besar kuat sinyal campuran yang dihasilkan pada tanggal 15 November 2016. Besar  $V_{total}$  terlihat berubah-ubah terhadap waktu. Hasil ini harus diabsolutkan terlebih dahulu sebelum diolah lagi untuk mendapatkan nilai koefisien korelasi. Tabel 4.9 merupakan hasil absolute dari tabel 4.8

**Tabel 4.9** Hasil Absolute Kuat Sinyal Total Tanggal 15 November

| Jam | $V_{total} \text{ S-M (V)}$<br>(1e-05) | $V_{total} \text{ S-B (V)}$<br>(1e-05) | $V_{total} \text{ S-T (V)}$<br>(1e-05) |
|-----|--|--|--|
| 14  | 0.0399                                 | 0.1558                                 | 0.0941                                 |
| 15  | 0.0420                                 | 0.1178                                 | 0.0967                                 |
| 16  | 0.3201                                 | 0.2814                                 | 0.0556                                 |
| 17  | 0.3606                                 | 0.2553                                 | 0.0326                                 |
| 18  | 0.5944                                 | 0.2534                                 | 0.1010                                 |
| 19  | 0.5133                                 | 0.3651                                 | 0.3063                                 |
| 20  | 0.5220                                 | 0.1435                                 | 0.0839                                 |
| 21  | 0.4224                                 | 0.2290                                 | 0.1166                                 |
| 22  | 0.7322                                 | 0.2227                                 | 0.0908                                 |

## 4.6 Perhitungan Koefisien Korelasi

Setelah mendapatkan nilai total kuat sinyal tiap waktu selanjutnya adalah mencari koefisien korelasi. Nilai dari koefisien korelasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah antar *link* mengalami korelasi atau tidak. Akan ada 15 korelasi yang akan ditampilkan pada buku ini. Yaitu korelasi antara *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Biak, korelasi antara *link* Surabaya-Merauke dengan Surabaya-Ternate, korelasi antara *link* Surabaya-Ternate dengan *link* Surabaya-Biak, korelasi siang dan malam antara ketiga *link*, serta korelasi harian antara ketiga *link* tersebut

### 4.6.1 Hasil Koefisien Korelasi terhadap Variasi Harian

Perhitungan koefisien korelasi didapatkan dengan menggunakan rumus persamaan (2.6). Korelasi harian merupakan korelasi tiap hari antara satu lintasan dengan lintasan lain. Dalam satu hari total keseluruhan jam yang diamati adalah sembilan jam, sehingga

terdapat sembilan pasang data untuk tiap harinya. Untuk hasil korelasi lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.10, Tabel 4.11, dan tabel 4.12

**Tabel 4.10** Hasil Korelasi 15 November

| 15/11<br>/2016 | S-M<br>Surabaya-Merauke | S-B<br>Surabaya-Biak | S-T<br>Surabaya-Ternate |
|----------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| S-M            | 1                       | 0.47196              | 0.19634                 |
| S-B            | 0.47196                 | 1                    | 0.5502                  |
| S-T            | 0.19634                 | 0.5502               | 1                       |

**Tabel 4.11** Hasil Korelasi 16 November

| 16/11<br>/2016 | S-M<br>Surabaya-Merauke | S-B<br>Surabaya-Biak | S-T<br>Surabaya-Ternate |
|----------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| S-M            | 1                       | -0.0818              | -0.27864                |
| S-B            | 0.0818                  | 1                    | -0.0030034              |
| S-T            | -0.27864                | -0.0030034           | 1                       |

**Tabel 4.12** Hasil Korelasi 17 November

| 17/11<br>/2016 | S-M<br>Surabaya-Merauke | S-B<br>Surabaya-Biak | S-T<br>Surabaya-Ternate |
|----------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| S-M            | 1                       | 0.43843              | -0.1647                 |
| S-B            | 0.43843                 | 1                    | 0.45691                 |
| S-T            | -0.1647                 | 0.45691              | 1                       |

**Tabel 4.13** Sudut Antar dua Link

|     | S-M<br>Surabaya-Merauke | S-B<br>Surabaya-Biak | S-T<br>Surabaya-Ternate |
|-----|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| S-M | 0                       | 18.5°                | 32.93°                  |
| S-B | 18.5°                   | 0                    | 14.78°                  |
| S-T | 32.93°                  | 14.78°               | 0                       |

Pada tanggal 15 November nilai korelasi harian *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Biak sebesar 0.47196 hal ini menunjukkan bahwa antara *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Biak memiliki nilai korelasi harian sedang, nilai korelasi *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Ternate sebesar 0.19634 hal ini menunjukkan bahwa antara *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Ternate memiliki nilai korelasi harian rendah, sedangkan besar

nilai korelasi lintasan Surabaya-Ternate dengan *link* Surabaya-Biak sebesar 0.5502 hal ini menunjukkan bahwa antara *link* Surabaya-Ternate dengan *link* Surabaya-Biak memiliki nilai korelasi harian sedang. Pada tanggal 15 November dapat disimpulkan bahwa *link* Surabaya-Merauke lebih berkorelasi dengan *link* Surabaya-Biak daripada *link* Surabaya-Ternate. Sedangkan *link* Surabaya-Biak sama-sama memiliki korelasi sedang terhadap *link* Surabaya-Merauke maupun *link* Surabaya-ternate.

Pada tanggal 16 November, terjadi perubahan nilai korelasi yang cukup signifikan antar *link*. Nilai korelasi *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Biak sebesar -0.0818 yang menunjukkan korelasi yang sangat rendah atau hampir tidak berkorelasi. Sedangkan korelasi *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Ternate sebesar -0.27864 yang menunjukkan kedua *link* memiliki korelasi yang rendah. Selanjutnya lintasan Surabaya-Ternate dengan *link* Surabaya-Biak memiliki korelasi -0.0030034 yang menunjukkan kedua *link* hampir tidak berkorelasi. Tanda negatif pada nilai korelasi dikarenakan garis regresi linier yang turun yang dapat dilihat di Lampiran C Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.

Pada tanggal 17 November, nilai korelasi *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Biak sebesar 0.43843 yang menunjukkan antar *link* memiliki korelasi yang sedang. Nilai korelasi antara *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Ternate sebesar -0.1647 yang menunjukkan bahwa antar *link* memiliki nilai korelasi harian yang rendah. Untuk *link* Surabaya-Ternate dengan *link* Surabaya-Biak memiliki nilai korelasi 0.45691 yang menunjukkan bahwa antar *link* memiliki korelasi sedang. Hasil nilai korelasi pada tanggal 17 November memiliki kemiripan dengan hasil nilai korelasi pada 15 November, dimana *link* Surabaya-Merauke lebih berkorelasi dengan *link* Surabaya-Biak daripada dengan *link* Surabaya-ternate. Sedangkan *link* Surabaya-Biak sama-sama memiliki korelasi sedang terhadap *link* Surabaya-Merauke maupun *link* Surabaya-Ternate. Nilai korelasi yang berubah-ubah tiap harinya terjadi karena perubahan kondisi ionosfer yang bervariasi.

Tabel 4.12 merupakan data sudut antar tiap *link*. Sudut antar dua lintasan ini diperoleh dari garis referensi arah utara. Jika kita membandingkan nilai korelasi tiap hari dengan besar sudut, pada tanggal 15 November dan 17 November semakin besar nilai selisih sudut maka akan semakin tidak berkorelasi. Sedangkan pada tanggal 16 November selisih sudut yang mempunyai nilai paling kecil memiliki nilai korelasi yang paling besar diantara *link* lainnya. Sehingga dapat disimpulkan

bahwa selisih sudut yang kecil belum tentu memiliki nilai korelasi yang besar, begitupun sebaliknya.

#### 4.6.2 Hasil Koefisien Korelasi terhadap Variasi Waktu

Setelah mencari koefisien korelasi terhadap variasi harian, langkah selanjutnya adalah mencari koefisien korelasi terhadap variasi waktu. Waktu disini yang dimaksud adalah waktu siang dan malam. Dimana Jam 14.00-17.00 WIB termasuk waktu siang dan Jam 18.00-22.00 WIB termasuk waktu malam. Data yang dikorelasikan untuk waktu siang secara keseluruhan berjumlah 12 pasang data, sedangkan untuk malam secara keseluruhan berjumlah 15 pasang data. Nilai korelasi siang ditunjukkan pada Tabel 4.14 dan nilai korelasi malam ditunjukkan pada Tabel 4.15.

**Tabel 4.14** Nilai Koefisien Korelasi Siang

| Siang | S-M<br>Surabaya-Merauke | S-B<br>Surabaya-Biak | S-T<br>Surabaya-Ternate |
|-------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| S-M   | 1                       | 0.142142             | -0.18377                |
| S-B   | 0.142142                | 1                    | -0.63646                |
| S-T   | -0.18277                | -0.63646             | 1                       |

**Tabel 4.15** Nilai Koefisien Korelasi Malam

| Malam | S-M<br>Surabaya-Merauke | S-B<br>Surabaya-Biak | S-T<br>Surabaya-Ternate |
|-------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| S-M   | 1                       | -0.14686             | -0.20349                |
| S-B   | -0.14686                | 1                    | 0.34008                 |
| S-T   | -0.20349                | 0.34008              | 1                       |

Pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15 dapat dilihat bahwa korelasi antara *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Biak adalah 0.142142 pada siang hari dan -0.146868 pada malam hari. Hal ini menunjukkan bahwa baik pada siang hari ataupun malam hari *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Biak memiliki korelasi yang rendah.

Nilai koefisien korelasi antara *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Ternate yaitu -0.18377 pada siang hari dan -0.20349 pada malam hari. Maka dapat dilihat bahwa korelasi *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Ternate pada malam hari lebih besar daripada saat

siang hari. Namun, baik korelasi saat siang hari atau korelasi saat malam hari mempunyai nilai korelasi yang rendah.

Sedangkan pada *link* Surabaya-Biak dan Surabaya-Ternate berkorelasi kuat saat siang hari dimana nilai korelasinya adalah -0.63646 dan rendah saat malam hari dengan nilai korelasi sebesar 0.34008.

Jika kita bandingkan kembali nilai selisih sudut antar *link* dengan korelasi siang dan malam maka dapat dilihat bahwa selisih yang besar belum tentu nilai korelasinya lebih kecil dan selisih sudut yang kecil belum tentu nilai korelasinya besar.

#### 4.6.3 Hasil Koefisien Korelasi terhadap Variasi Keseluruhan

Setelah mencari koefisien korelasi terhadap variasi harian dan variasi waktu, langkah selanjutnya adalah mencari koefisien korelasi link keseluruhan antara SM-SB, SM-ST, dan SB-ST. Untuk mendapatkan nilai koefisien korelasi keseluruhan maka data yang diolah adalah semua data tiap jam dari tanggal 15 November hingga 17 November. Total data yang dikorelasikan adalah 27 pasang data. Nilai korelasi keseluruhan antar *link* ditunjukkan pada Tabel 4.16.

**Tabel 4.16** Nilai Koefisien Korelasi Lintasan Keseluruhan

| Link | S-M<br>Surabaya-Merauke | S-B<br>Surabaya-Biak | S-T<br>Surabaya-Ternate |
|------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| S-M  | 1                       | 0.28734              | 0.025156                |
| S-B  | 0.28734                 | 1                    | 0.26363                 |
| S-T  | 0.025156                | 0.28734              | 1                       |

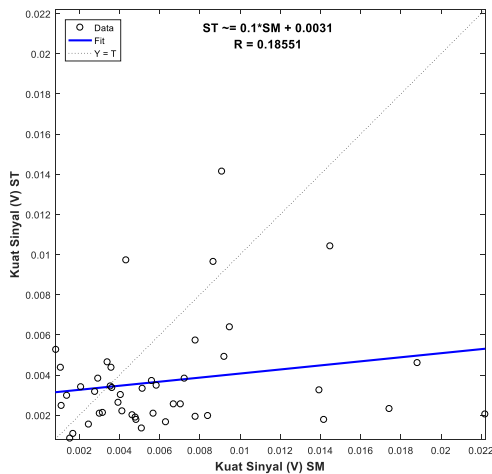
Pada Tabel 4.16 dapat dilihat nilai koefisien korelasi keseluruhan antar *link* secara keseluruhan. Nilai koefisien korelasi keseluruhan antara *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Biak sebesar 0.28734 dimana hal ini menunjukkan bahwa nilai korelasi rendah. Nilai koefisien korelasi keseluruhan *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Ternate sebesar 0.025156 yang menunjukkan bahwa kedua lintasan hampir tidak berkorelasi. Sedangkan nilai koefisien korelasi antara *link* Surabaya-Biak dengan *link* Surabaya-Ternate sebesar 0.26363 yang menunjukkan bahwa nilai korelasi antar kedua lintasan rendah. Rata-rata korelasi antar tiap *link* bernilai rendah, namun Dari ketiga *link* tersebut, nilai korelasi terendah yaitu antara *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Ternate, sehingga *link* Surabaya-Ternate dapat

dijadikan sebagai *link* alternatif jika terjadi gangguan pada *link* Surabaya-Merauke.

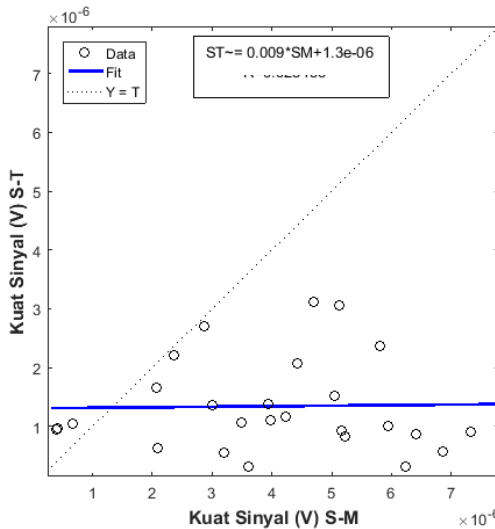
#### 4.7 Verifikasi dengan Hasil Pengukuran

Selanjutnya adalah membandingkan hasil nilai koefisien korelasi yang didapat dari simulasi *Proplab* dengan nilai koefisien korelasi yang didapat dari pengukuran. Tugas akhir ini menggunakan analisis korelasi sehingga hasil yang dibandingkan adalah hasil koefisien korelasi keseluruhan antara *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Ternate.

Pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa koefisien korelasi kuat sinyal antara *link* Surabaya-Ternate dengan *link* Surabaya Merauke pada pengukuran adalah 0.18661. Hal ini menunjukkan bahwa kuat sinyal antara *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Ternate mempunyai nilai korelasi yang rendah.



**Gambar 4.6** *Scatterplot* Kuat Sinal (V) keseluruhan antara Surabaya-Merauke (S-M) dengan Surabaya-Ternate (S-T) dengan data pengukuran



**Gambar 4.7** *Scatterplot* Kuat Sinyal (V) keseluruhan antara Surabaya-Merauke (S-M) dengan Surabaya-Ternate (S-T) dengan data simulasi

Pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 gambar bulat merupakan data. Dimana data pengukuran terdapat sebanyak 45 pasang sedangkan pada simulasi memiliki 30 pasang data. Garis putus-putus yang berada ditengah merupakan *fitting* jika nilai koefisien korelasinya bernilai satu.

Pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa koefisien korelasi kuat sinyal antara *link* Surabaya-Ternate dengan *link* Surabaya Merauke pada simulasi adalah 0.025156. Hal ini menunjukkan bahwa kuat sinyal antara *link* Ternate dengan *link* Merauke mempunyai nilai korelasi yang rendah.

Dari gambar serta penjelasan diatas dapat diketahui bahwa antara *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Ternate berkorelasi rendah baik hasil dari pengukuran atau hasil dari simulasi.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan serangkaian tinjauan pustaka, perencanaan, perhitungan dan analisis sistem, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Kondisi ionosfer yang berubah-ubah membuat nilai korelasi bervariasi setiap harinya dimana bisa dilihat pada korelasi *link* SM – ST pada tanggal 15 November sebesar 0.19634, pada 16 November -0.27864, dan pada 17 November sebesar -0.1647.
2. Hasil korelasi *link* Surabaya-Merauke dengan *link* Surabaya-Ternate antara pengukuran dan simulasi sama-sama menunjukkan bahwa nilai korelasi antar kedua *link* rendah yaitu pada pengukuran sebesar 0.18551 dan koefisien korelasi pada simulasi sebesar 0.025156
3. Korelasi siang malam tiap link saling berbeda bisa dilihat pada korelasi *link* SM-ST saat siang hari sebesar -0.18377 dan pada malam hari -0.20349, sedangkan korelasi *link* SM-SB siang hari sebesar 0.142142 dan pada malam hari -0.14686
4. Selisih sudut bearing kecil belum tentu menghasilkan korelasi yang besar, begitu sebaliknya.
5. *Link* Surabaya-Ternate bisa menjadi salah satu *link* alternatif jika terjadi gangguan pada *link* Surabaya-Merauke karena memiliki nilai korelasi yang rendah

#### **5.2 Saran**

Dalam melakukan pengembangan sistem komunikasi HF kedepannya, dapat diperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

1. Data yang diambil hanya dari jam 14.00-23.00 WIB, untuk kedepannya pengambilan data bisa diperbanyak variasi jam dalam satu hari untuk meningkatkan akurasi perhitungan korelasi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Goverment, IPS Radio and Space Services Introduction to HF Radio Propagation, Australia, 2007.
- [2] I.-R. Rec, "Wireless Communication Principles and Practice," Vols. 413-7, 2005.
- [3] L. F. McNamara, The Ionosphere : Communications, Surveillance, Direction Finding, Florida: Krieger Publishing Company, 1991.
- [4] Gamantyo Hendrantoro, Achmad Mauludiyanto, "Sistem Komunikasi Radio HF Pita Lebar untuk Komunikasi Jarak Jauh yang Murah dan Handal di Daerah Ekuatorial," Penelitian Strategis Nasional, Surabaya, 2013.
- [5] K. Davis, Ionospheric Radio, California: Peter Peregrinus Ltd, 1990.
- [6] S. Suharti, "Komunikasi Radio High Frequency Jarak Dekat," *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*, vol. 6 No 1, 2011.
- [7] Anders Vastberg, Bengt Lundborg, "Superposition of signals in ionospheric multipath channels," *Radio Science*, vol. 5, pp. 2083-2090, 1997.
- [8] A.K.Sharma, Text Book of Correlation and Regression, New Delhi: DPH Publisher, 2005.
- [9] M. A. Zaid, Correlation and Regression Analysis, Ankara: SESRIC.
- [10] Mendenhall W, R. J. Beaver, and B. M. Beaver, Introduction to probability and statistic, Boston: USA:Brooks/Cole, 2013.
- [11] N. Awaliyah, "Sistem Komunikasi High Frekuensi(HF) Pada Lintasan Surabaya Merauke," Elektro ITS, Surabaya, 2013.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **LAMPIRAN A**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN B

### MATHSCRIPT PENGAOLAHAN DATA PADA PERANGKAT LUNAK MATLAB

```
clear all;
close all;
clc;
data=xlsread('D:\Yus_TA\DataBaru.xlsx','SiangMal
am2','B14:M28')
data2=xlsread('D:\Yus_TA\DataBaru.xlsx','SiangMa
lam2','X14:AE28')
%-----Data MKQ-----%
Ao2=data(:,1);
Po2=data(:,2);
Ax2=data(:,3);
Px2=data(:,4);
Ao3=data(:,5);
Po3=data(:,6);
Ax3=data(:,7);
Px3=data(:,8);
Ao4=data(:,9);
Po4=data(:,10);
Ax4=data(:,11);
Px4=data(:,12);

%-----Data TTE-----%
Ao22=data2(:,1);
Po22=data2(:,2);
Ax22=data2(:,3);
Px22=data2(:,4);
Ao32=data2(:,5);
Po32=data2(:,6);
Ax32=data2(:,7);
Px32=data2(:,8);

Vo2=Ao2 .* exp(Po2 * j);
Vx2=Ax2 .* exp(Px2 * j);
Vo3=Ao2 .* exp(Po3 * j);
Vx3=Ax3 .* exp(Px3 * j);
```

```

Vo4=Ao4 .* exp(Po4 * j);
Vx4=Ax4 .* exp(Px4 * j);
%V_total=Vo2+Vx2;
V_total=(Vo2+Vo3)+(Vx2+Vx3);
%V_total=(Vo2+Vo3+Vo4)+(Vx2+Vx3+Vo4);

Vo22=Ao22 .* exp(Po22 * j);
Vx22=Ax22 .* exp(Px22 * j);
Vo32=Ao22 .* exp(Po32 * j);
Vx32=Ax32 .* exp(Px32 * j);
%V_total2=Vo22+Vx22;
V_total2=(Vo22+Vo32)+(Vx22+Vx32);

V_MKQ = abs(V_total)
V_TTE = abs(V_total2)
cc_LINK = corrcoef(V_MKQ,V_TTE)

figure(1)
plotregression(V_MKQ,V_TTE,'MKQ-TTE')
axis([0.1e-6 7.8e-6 0 4.5e-6])
%v=(15+20*exp(30j-160j))*exp(160j)

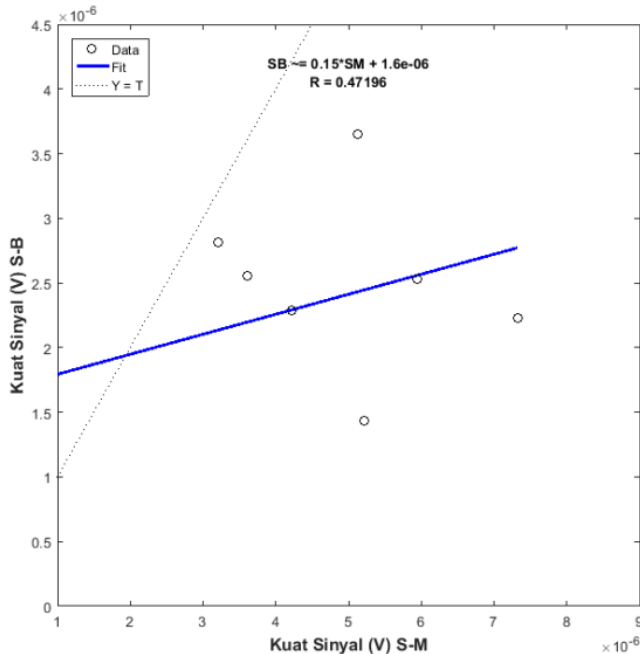
```



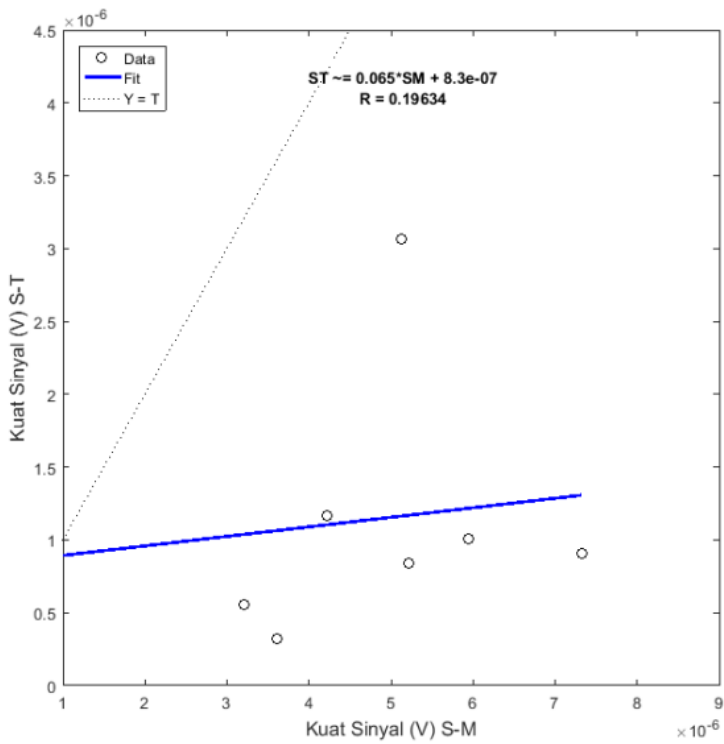
## LAMPIRAN C

### SCATTERING PLOT DAN GRAFIK KORELASI

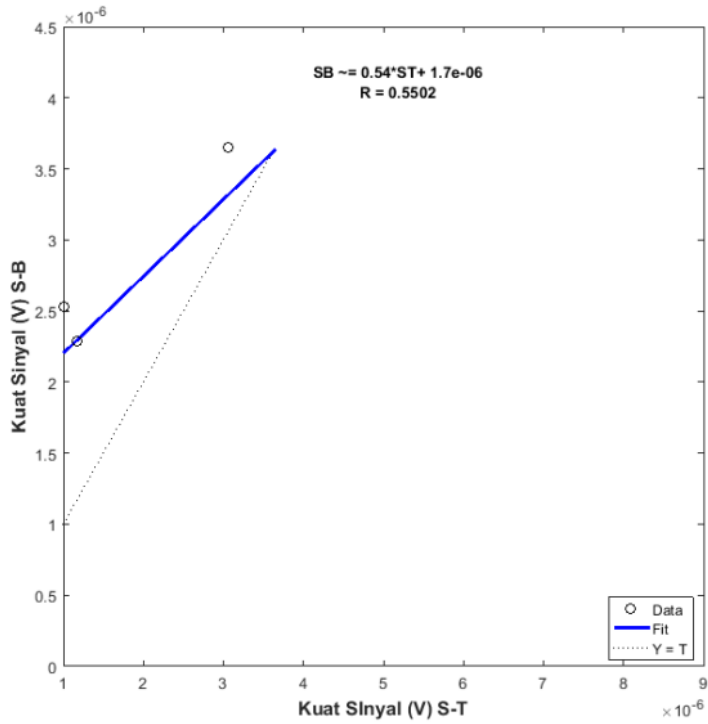
#### 1. Regresi antar *link* berdasarkan variasi hari



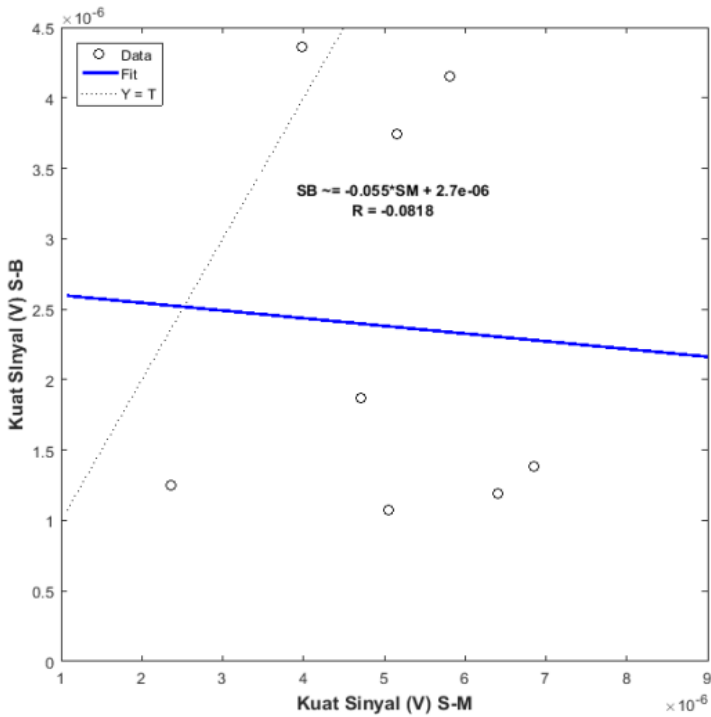
**Gambar 1.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (S-M) dengan Surabaya-Biak (S-B) tanggal 15 November 2016



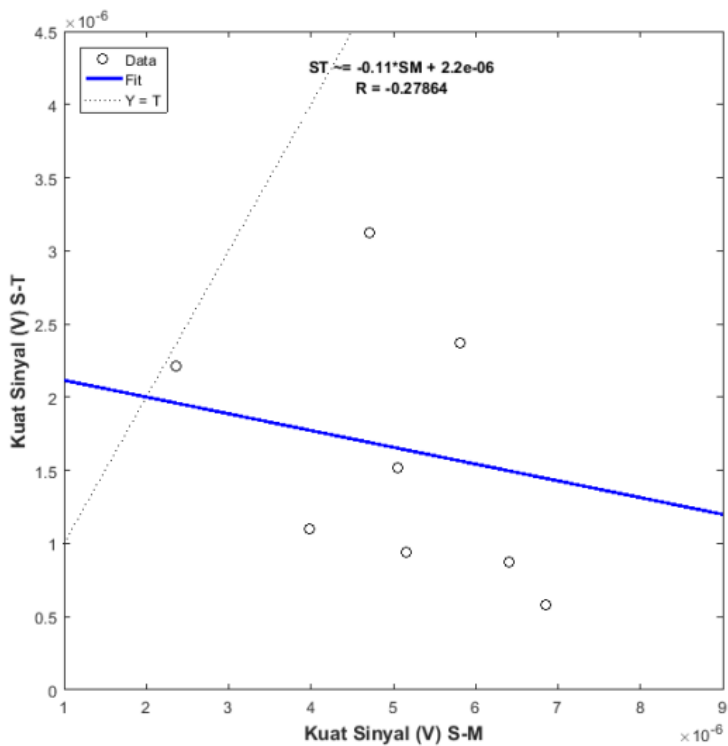
**Gambar 2.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (S-M) dengan Surabaya-Ternate (S-T) tanggal 15 November 2016



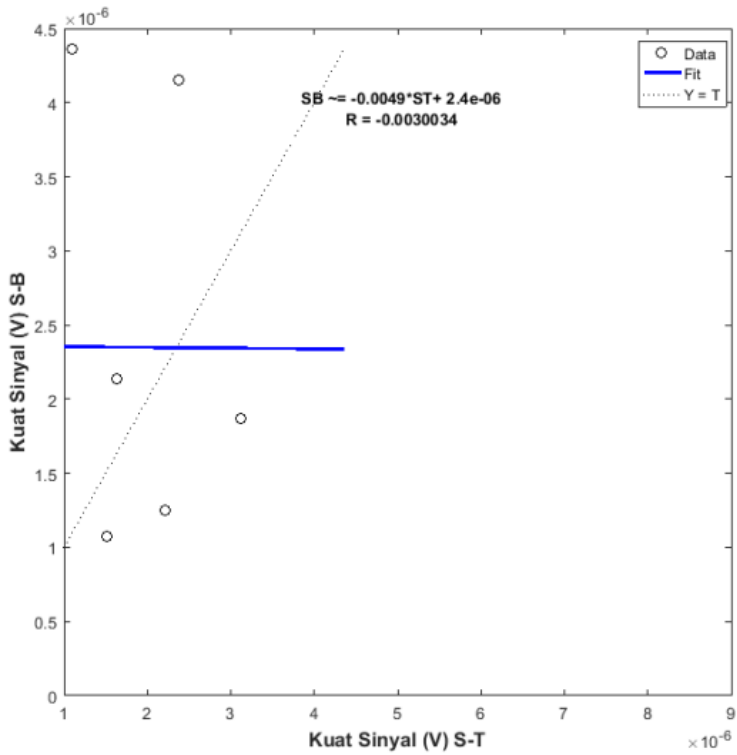
**Gambar 3.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Ternate(S-T) dengan Surabaya-Biak (S-B) tanggal 15 November 2016



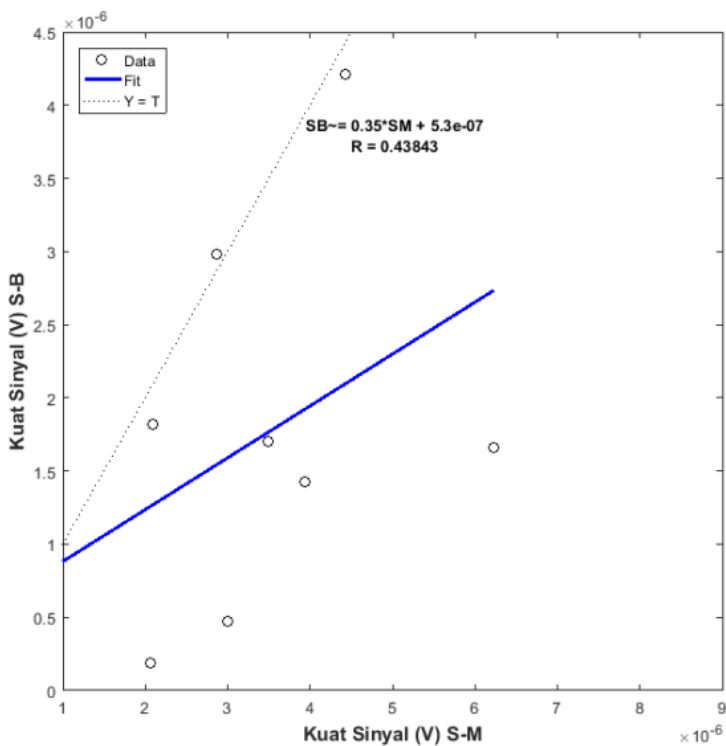
**Gambar 4.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (S-M) dengan Surabaya-Biak (S-B) tanggal 16 November 2016



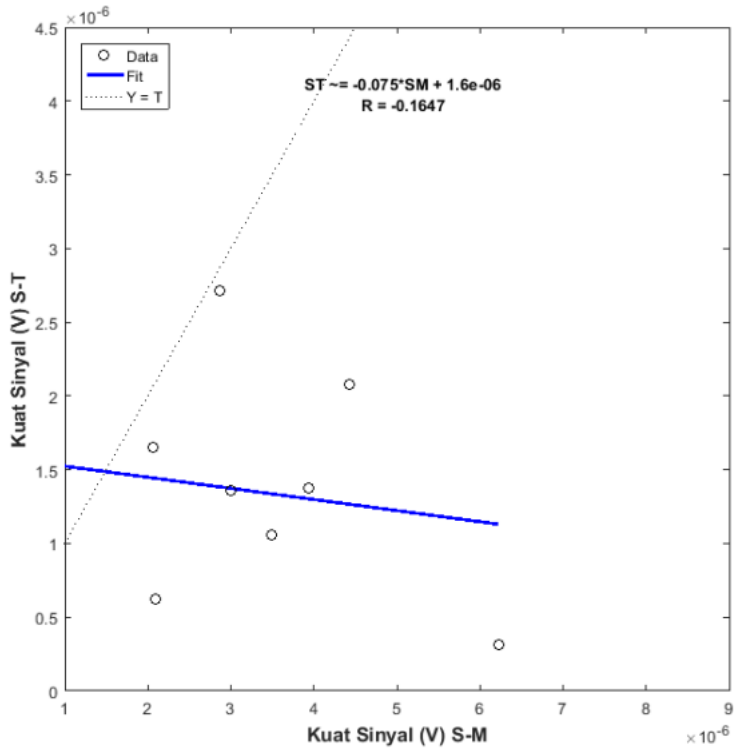
**Gambar 5.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (S-M) dengan Surabaya-Ternate (S-T) tanggal 16 November 2016



**Gambar 6.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Ternate(S-T) dengan Surabaya-Biak (S-B) tanggal 16 November 2016

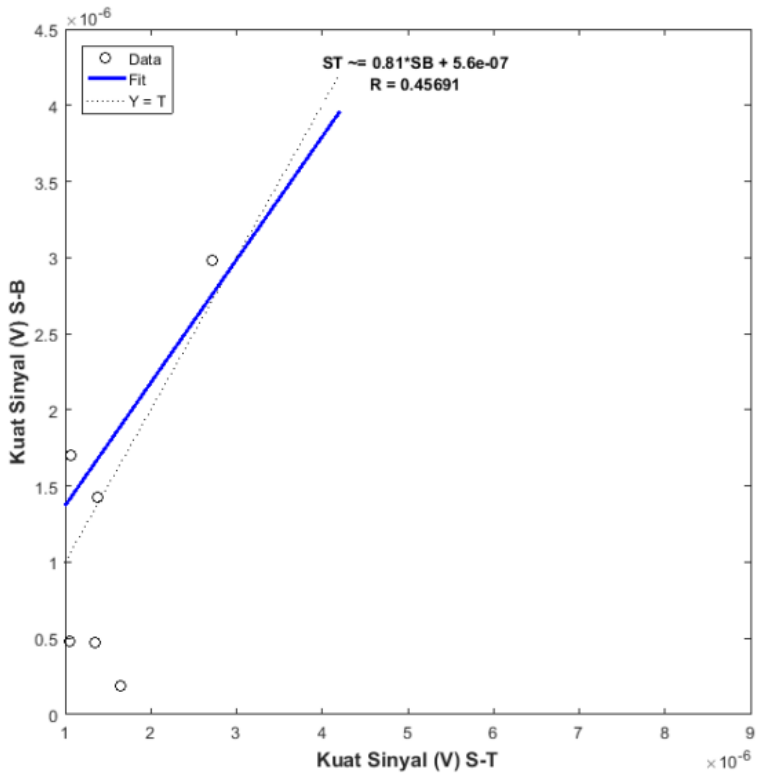


**Gambar 7.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (S-M) dengan Surabaya-Biak (S-B) tanggal 17 November 2016



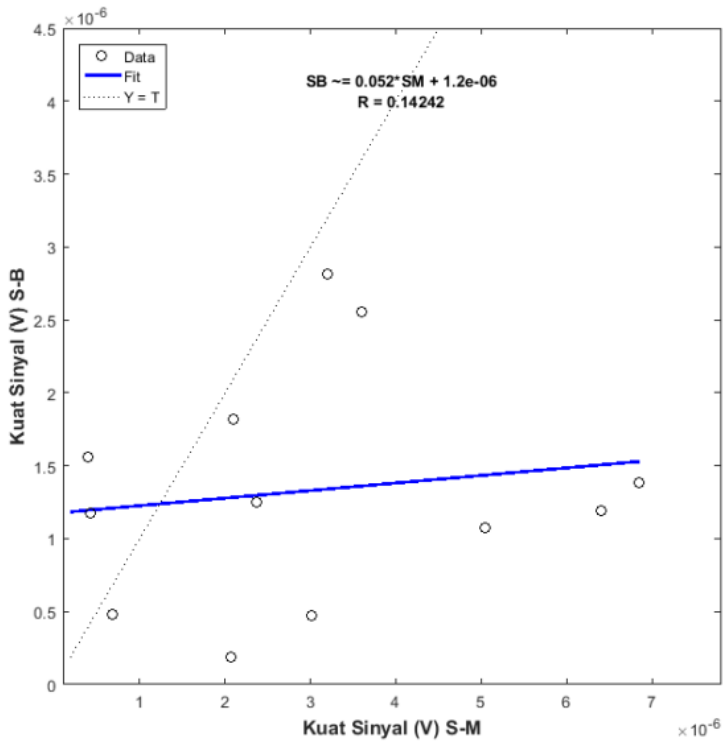
**Gambar 8.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (S-M) dengan Surabaya-Ternate (S-T) tanggal 17 November 2016



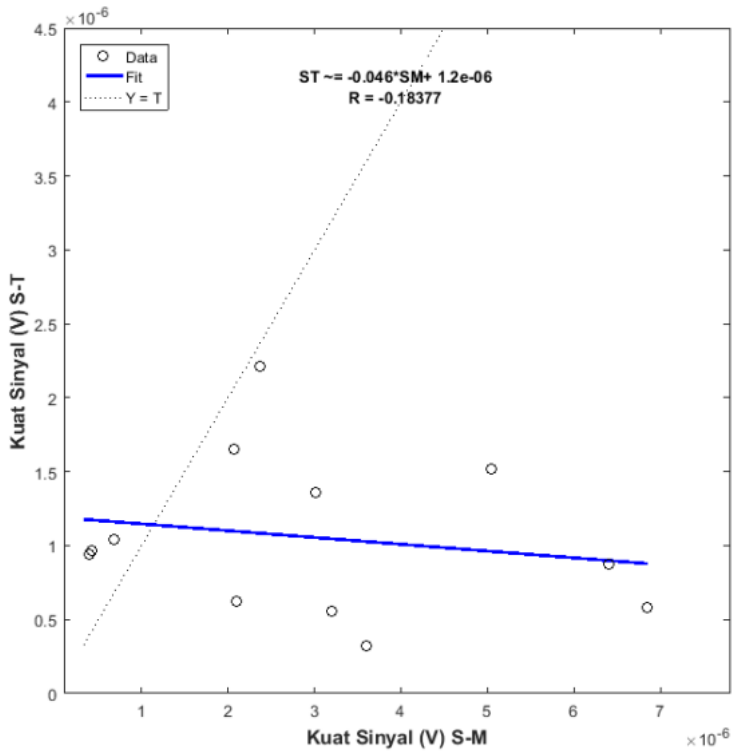


**Gambar 9.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Ternate(S-T) dengan Surabaya-Biak (S-B) tanggal 17 November 2016

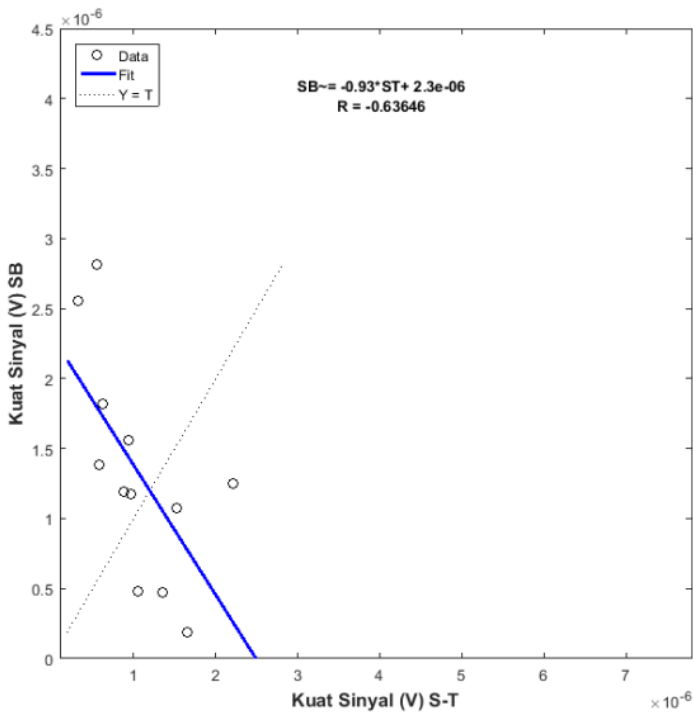
## 2. Hasil regresi berdasarkan variasi waktu



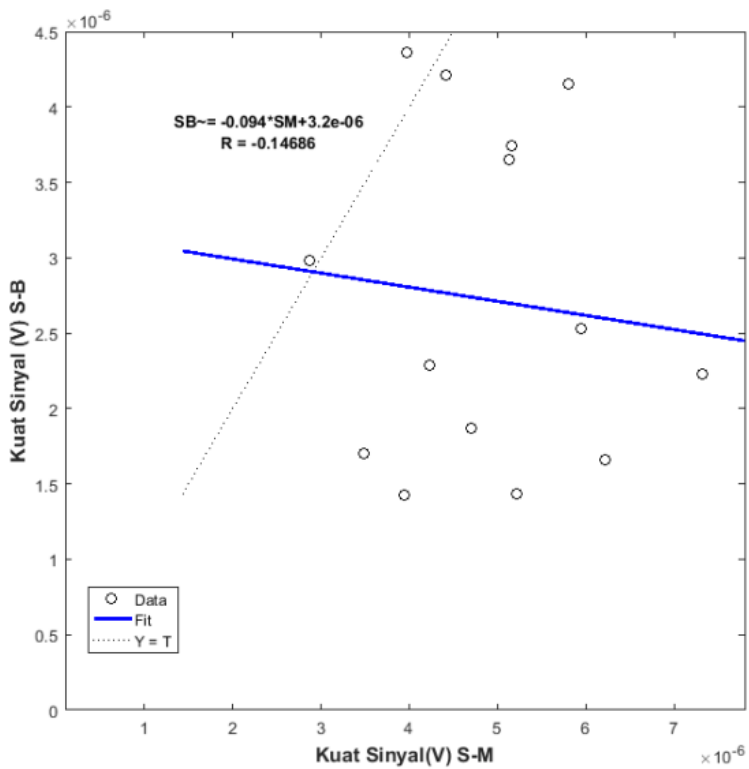
**Gambar 10.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Ternate(S-M) dengan Surabaya-Biak (S-B) pada siang hari



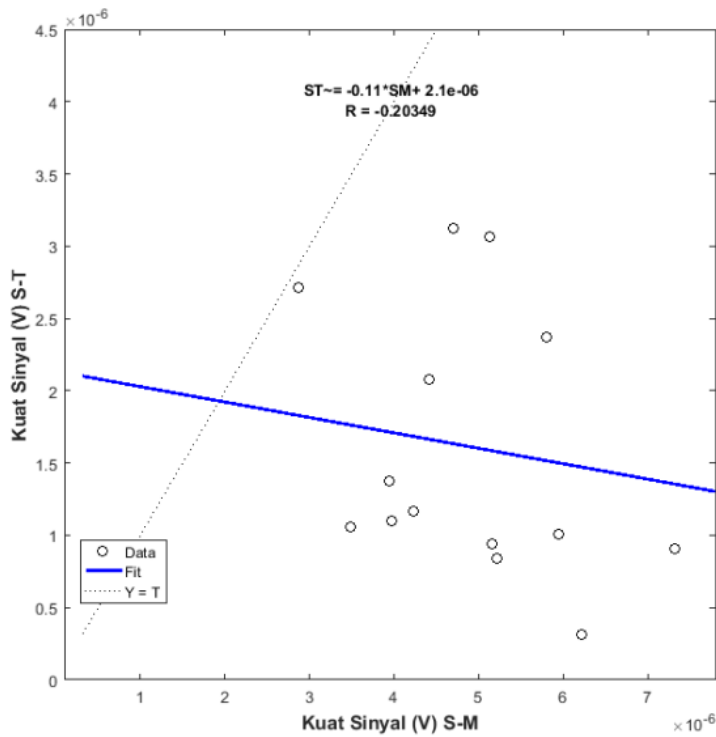
**Gambar 11.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (S-M) dengan Surabaya-Ternate (S-T) pada siang hari



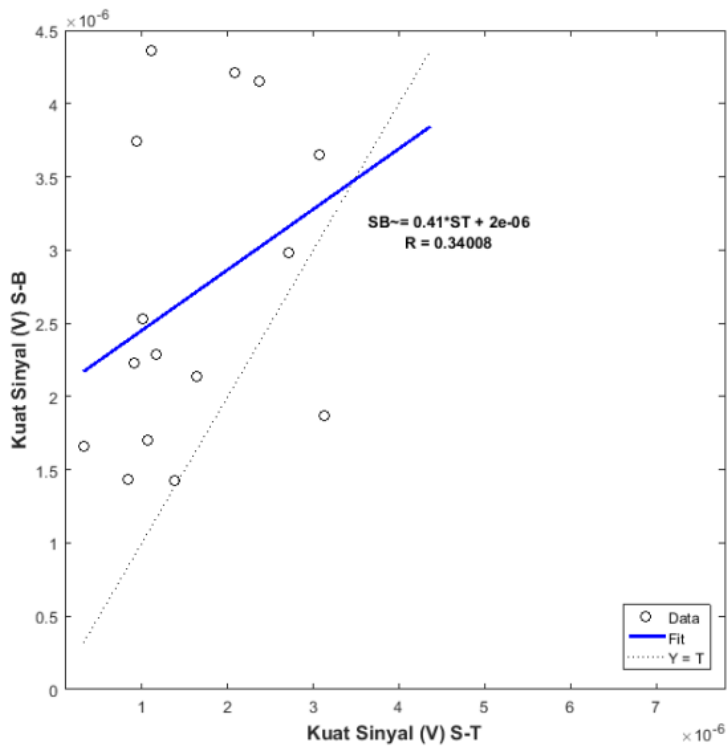
**Gambar 12.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Ternate(S-T) dengan Surabaya-Biak (S-B) pada siang hari



**Gambar 10.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke(S-M) dengan Surabaya-Biak (S-B) pada malam hari

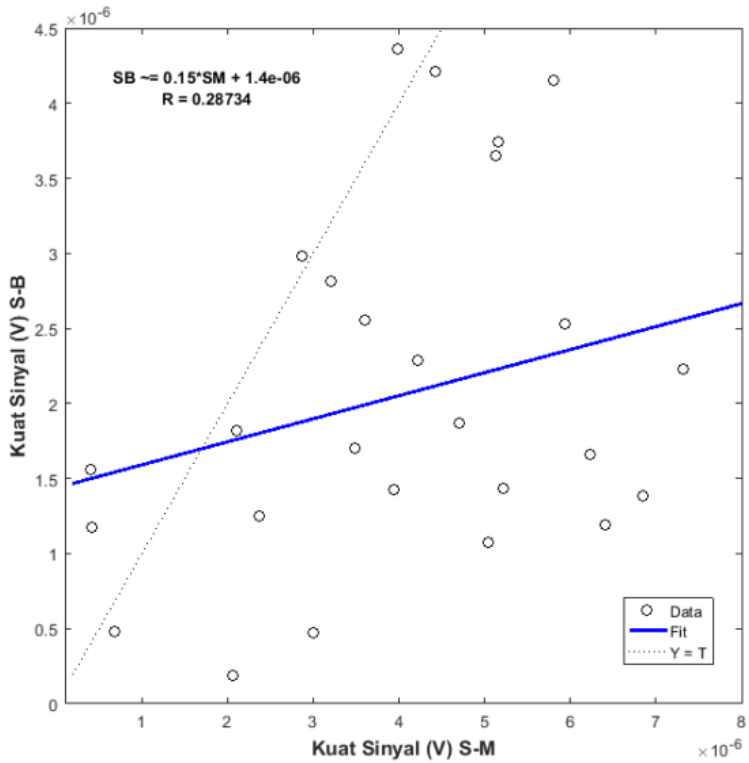


**Gambar 11.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke(S-M) dengan Surabaya-Ternate (S-T) pada malam hari



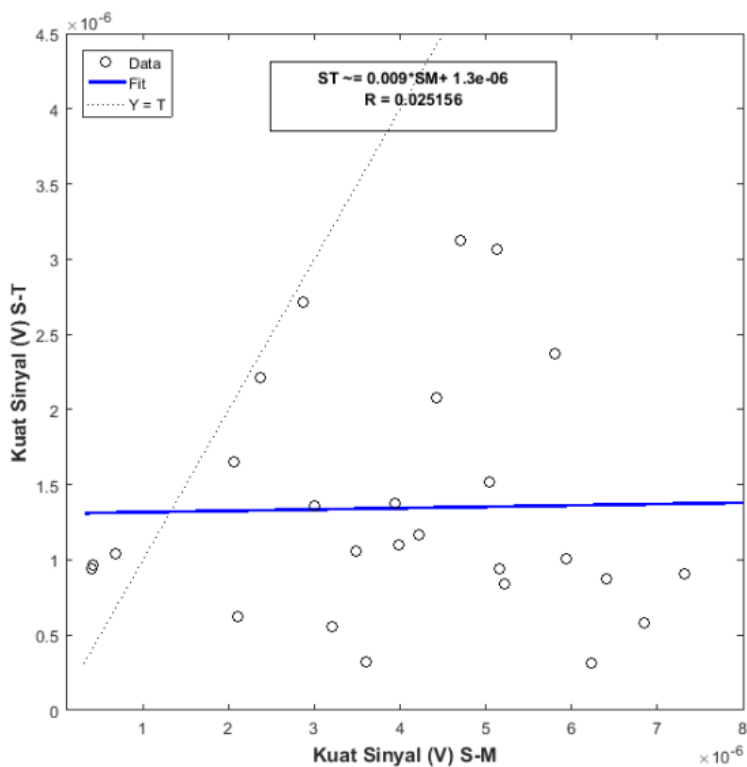
**Gambar 12.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Ternate(S-T) dengan Surabaya-Biak (S-B) pada malam hari

### 3. Hasil Regresi Variasi Keseluruhan

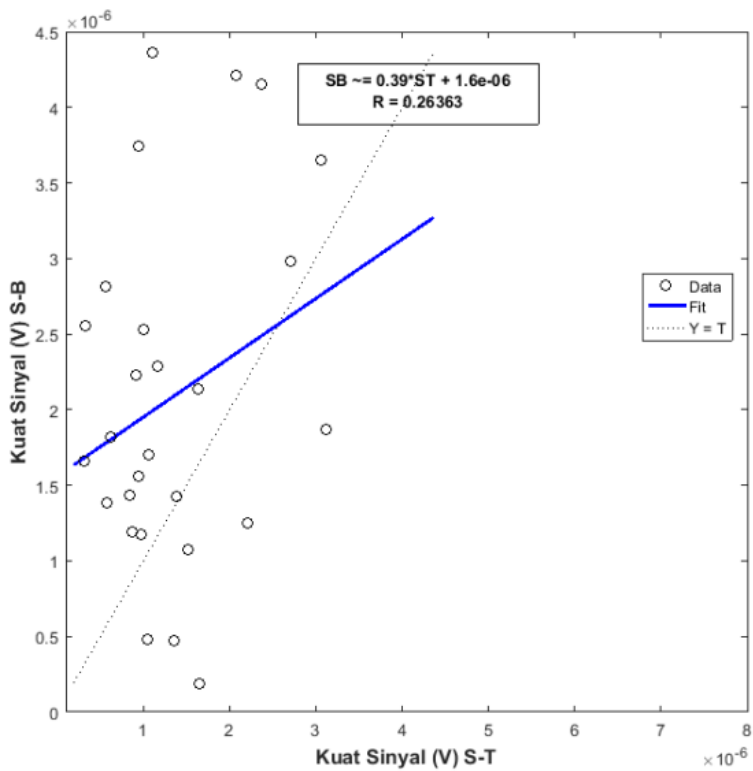


**Gambar 13.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke (S-M) dengan Surabaya-Biak (S-B) secara keseluruhan





**Gambar 13.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Merauke(S-M) dengan Surabaya-Ternate (S-T) secara keseluruhan



**Gambar 13.** Kurva Hamburan Kuat Sinyal (V) antara Surabaya-Ternate(S-T) dengan Surabaya-Biak (S-B) secara keseluruhan

## LAMPIRAN D

### Data Tabel

**Tabel 1.** Data kuat sinyal dan fase masing-masing gelombang *ordinary* dan *extraordinary link* Surabaya-Merauke mode propagasi 2F

| Jam | 2F Mode    |             |            |             |
|-----|------------|-------------|------------|-------------|
|     | Ao         | Po          | Ax         | Px          |
| 14  | 4.8663E-07 | 3.438994743 | 4.5096E-07 | 4.687365467 |
| 15  | 6.7084E-07 | 0.677554009 | 6.3779E-07 | 4.632315914 |
| 16  | 9.5184E-07 | 2.774055324 | 9.2504E-07 | 5.228682695 |
| 17  | 2.0612E-06 | 5.109562333 | 2.0481E-06 | 2.706177257 |
| 18  | 2.2690E-06 | 4.827961914 | 2.2691E-06 | 3.020729695 |
| 19  | 2.2856E-06 | 4.495314162 | 2.2861E-06 | 0.147819676 |
| 20  | 2.2884E-06 | 5.816901514 | 2.2879E-06 | 5.491032905 |
| 21  | 2.2605E-06 | 4.858671819 | 2.2575E-06 | 1.027584905 |
| 22  | 2.2931E-06 | 0.447657571 | 2.3066E-06 | 2.127388581 |
| 14  | 4.9079E-07 | 2.329333076 | 4.5564E-07 | 3.611010543 |
| 15  | 6.7053E-07 | 5.920595162 | 6.3742E-07 | 5.054388219 |
| 16  | 9.4562E-07 | 4.543460009 | 9.1896E-07 | 2.32104159  |
| 17  | 2.0083E-06 | 2.710447562 | 1.9922E-06 | 3.728477762 |
| 18  | 2.2507E-06 | 4.660766105 | 2.2513E-06 | 3.135935838 |
| 19  | 2.2707E-06 | 1.735475133 | 2.2714E-06 | 0.903606629 |
| 20  | 2.2824E-06 | 3.751892676 | 2.2820E-06 | 2.978294733 |
| 21  | 2.2748E-06 | 5.380630514 | 2.2627E-06 | 5.621522238 |
| 22  | 2.3026E-06 | 3.121791305 | 2.3072E-06 | 0.462212352 |
| 14  | 4.8882E-07 | 4.859347429 | 4.5238E-07 | 2.2026334   |
| 15  | 6.6827E-07 | 1.588029143 | 6.3533E-07 | 0.29288139  |
| 16  | 9.4458E-07 | 0.157409581 | 9.1780E-07 | 2.754305505 |
| 17  | 1.9922E-06 | 3.902001664 | 1.9760E-06 | 1.381925538 |
| 18  | 2.2485E-06 | 1.124714407 | 2.2491E-06 | 4.258977333 |

|    |            |               |            |             |
|----|------------|---------------|------------|-------------|
| 19 | 2.2753E-06 | 3.393840717   | 2.2759E-06 | 5.251725151 |
| 20 | 2.2886E-06 | 0.864122524   | 2.2882E-06 | 2.774255385 |
| 21 | 2.2521E-06 | 3.1328145E+00 | 2.2496E-06 | 2.00686412  |
| 22 | 2.2752E-06 | 4.311661023   | 2.2727E-06 | 2.070483966 |

**Tabel 2.** Data kuat sinyal dan fase masing-masing gelombang *ordinary* dan *extraordinary link* Surabaya-Merauke. Mode propagasi 3F .

| Jam | 3F Mode    |             |            |            |
|-----|------------|-------------|------------|------------|
|     | Ao         | Po          | Ax         | Px         |
| 14  | 4.2013E-07 | 2.517843848 | 3.7547E-07 | 1.35571323 |
| 15  | 2.7329E-07 | 1.42585101  | 2.5466E-07 | 0.66129192 |
| 16  | 8.8116E-07 | 4.195902752 | 8.4628E-07 | 5.02173949 |
| 17  | 1.1790E-06 | 3.940047362 | 2.0481E-06 | 2.70617726 |
| 18  | 1.2962E-06 | 5.313748943 | 1.2978E-06 | 0.48890108 |
| 19  | 1.3113E-06 | 4.351408705 | 1.3121E-06 | 0.28040896 |
| 20  | 1.2917E-06 | 4.221488019 | 1.3011E-06 | 1.24068445 |
| 21  | 5.6419E-07 | 5.930042905 | 5.5453E-07 | 2.94326172 |
| 22  | 8.3553E-07 | 2.608817305 | 2.0399E-06 | 1.40284498 |
| 14  | 3.0043E-06 | 6.054572229 | 2.6820E-06 | 1.37966159 |
| 15  | 6.2339E-06 | 2.632534143 | 5.9848E-06 | 0.88289688 |
| 16  | 6.2339E-06 | 2.632534143 | 5.9848E-06 | 0.88289688 |
| 17  | 1.8645E-06 | 0.940223743 | 1.8041E-06 | 1.00628754 |
| 18  | 8.3553E-07 | 2.608817305 | 2.0399E-06 | 1.40284498 |
| 19  | 2.0469E-06 | 0.203830524 | 2.0479E-06 | 0.37595465 |
| 20  | 2.0876E-06 | 0.568913086 | 2.0925E-06 | 4.16392963 |
| 21  | 2.0655E-06 | 0.492673133 | 2.0766E-06 | 5.16471885 |
| 22  | 1.3189E-06 | 2.467722609 | 1.3216E-06 | 2.53661477 |
| 14  | 6.8207E-07 | 2.626671858 | 6.1019E-07 | 2.31915064 |
| 15  | 4.3047E-07 | 5.404267607 | 9.3092E-07 | 4.55149224 |

|    |            |             |            |            |
|----|------------|-------------|------------|------------|
| 16 | 1.3939E-06 | 4.603779897 | 1.3383E-06 | 1.8808807  |
| 17 | 1.1686E-06 | 4.818245478 | 1.1554E-06 | 0.25878636 |
| 18 | 1.3038E-06 | 5.013207987 | 5.2357E-07 | 0.59496358 |
| 19 | 1.3076E-06 | 2.956558035 | 1.3089E-06 | 6.01942526 |
| 20 | 1.3117E-06 | 5.752809365 | 1.3118E-06 | 5.63139192 |
| 21 | 1.3103E-06 | 3.975957695 | 1.3184E-06 | 1.98833858 |
| 22 | 1.3189E-06 | 3.13495419  | 1.3216E-06 | 1.96057655 |

Tabel 3. Data kuat sinyal dan fase masing-masing gelombang *ordinary* dan *extraordinary link* Surabaya-Merauke. Mode propagasi 4F .

| Jam | 4F Mode     |             |             |            |
|-----|-------------|-------------|-------------|------------|
|     | Ao          | Po          | Ax          | Px         |
| 14  | 2.53336E-07 | 5.768487581 | 2.18207E-07 | 4.86591265 |
| 15  | 3.88996E-07 | 3.382308286 | 3.52269E-07 | 3.23133936 |
| 16  | 5.74868E-07 | 3.799024429 | 5.45014E-07 | 3.25251216 |
| 17  | 1.65489E-06 | 1.24212639  | 1.63295E-06 | 3.26258271 |
| 18  | 1.83756E-06 | 3.756927952 | 1.80879E-06 | 0.30795202 |
| 19  | 1.82478E-06 | 0.71723101  | 1.82737E-06 | 5.38641316 |
| 20  | 1.8435E-06  | 3.642362219 | 1.84414E-06 | 0.237974   |
| 21  | 1.88517E-06 | 4.122580524 | 1.8894E-06  | 2.3708961  |
| 22  | 8.35529E-07 | 2.608817305 | 2.03989E-06 | 1.40284498 |
| 14  | 2.54065E-07 | 3.805394686 | 2.1829E-07  | 4.61804682 |
| 15  | 5.69491E-07 | 0.425007629 | 5.15523E-07 | 2.45197637 |
| 16  | 5.78591E-07 | 0.814422272 | 5.48112E-07 | 0.81003107 |
| 17  | 1.04426E-06 | 1.415033086 | 1.03062E-06 | 3.0550871  |
| 18  | 1.15893E-06 | 1.012959724 | 1.14078E-06 | 2.2148567  |
| 19  | 1.16394E-06 | 3.216358095 | 1.16591E-06 | 2.57043872 |
| 20  | 1.16804E-06 | 2.213842609 | 1.16871E-06 | 0.15666221 |
| 21  | 1.17655E-06 | 5.578357505 | 1.17967E-06 | 0.25421849 |

|    |             |             |             |            |
|----|-------------|-------------|-------------|------------|
| 22 | 4.15636E-07 | 1.5917836   | 4.15569E-07 | 0.80587299 |
| 14 | 2.54727E-07 | 5.721391029 | 2.19658E-07 | 3.60323627 |
| 15 | 5.67829E-07 | 5.125878581 | 5.13869E-07 | 4.5438161  |
| 16 | 5.80544E-07 | 2.402121857 | 5.49648E-07 | 4.8114859  |
| 17 | 1.64788E-06 | 2.937944051 | 1.62429E-06 | 2.55133281 |
| 18 | 1.15777E-06 | 0.30431286  | 4.10612E-07 | 1.74946888 |
| 19 | 1.83821E-06 | 4.88087132  | 1.83317E-06 | 4.20951896 |
| 20 | 1.1772E-06  | 4.671422574 | 1.17821E-06 | 4.82608749 |
| 21 | 1.87194E-06 | 5.186270288 | 1.87683E-06 | 2.78998659 |
| 22 | 4.15636E-07 | 0.667199766 | 4.15569E-07 | 0.81408466 |

**Tabel 4.** Data kuat sinyal dan fase masing-masing gelombang *ordinary* dan *extraordinary link* Surabaya-Biak mode propagasi 2F

| Jam | 2F Mode     |             |             |             |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|
|     | Ao          | Po          | Ax          | Px          |
| 14  | 5.96495E-07 | 5.288963848 | 5.20668E-07 | 6.120618429 |
| 15  | 8.0054E-07  | 6.010589724 | 7.32347E-07 | 6.25952381  |
| 16  | 1.06419E-06 | 6.076778086 | 1.01431E-06 | 5.440822305 |
| 17  | 1.46286E-06 | 4.820649324 | 1.44082E-06 | 5.441355752 |
| 18  | 1.60566E-06 | 1.889753067 | 1.60521E-06 | 2.327820733 |
| 19  | 1.61948E-06 | 0.448511905 | 1.61858E-06 | 6.078876676 |
| 20  | 1.62521E-06 | 1.247339029 | 1.62304E-06 | 4.343366343 |
| 21  | 1.63277E-06 | 5.880242552 | 1.6308E-06  | 2.638690476 |
| 22  | 1.63481E-06 | 1.966847352 | 1.63672E-06 | 5.216157467 |
| 14  | 5.96817E-07 | 1.795453    | 5.20301E-07 | 5.861097943 |
| 15  | 7.99435E-07 | 0.5684866   | 7.31608E-07 | 4.580219286 |
| 16  | 1.06273E-06 | 3.494417981 | 1.01282E-06 | 2.520673571 |
| 17  | 1.46243E-06 | 4.604648295 | 1.44038E-06 | 2.019958076 |
| 18  | 1.60566E-06 | 1.889753067 | 1.60521E-06 | 2.327820733 |
| 19  | 1.61875E-06 | 1.676297438 | 1.61796E-06 | 5.619743171 |
| 20  | 1.62577E-06 | 6.044555838 | 1.62365E-06 | 2.938849257 |
| 21  | 1.62577E-06 | 6.044555838 | 1.62365E-06 | 2.938849257 |

|    |             |             |             |             |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 22 | 1.63381E-06 | 1.834098305 | 1.63599E-06 | 6.282405276 |
| 14 | 6.37077E-07 | 0.108053314 | 5.55521E-07 | 4.901408705 |
| 15 | 8.53738E-07 | 5.760108095 | 7.80812E-07 | 3.915067305 |
| 16 | 1.13476E-06 | 4.834011286 | 1.08128E-06 | 0.04698959  |
| 17 | 1.45935E-06 | 2.769518295 | 1.43806E-06 | 4.951103457 |
| 18 | 1.45935E-06 | 2.769518295 | 1.43806E-06 | 4.951103457 |
| 19 | 1.61809E-06 | 3.396293057 | 1.61745E-06 | 0.625564343 |
| 20 | 1.62515E-06 | 2.97804561  | 1.62318E-06 | 0.760413343 |
| 21 | 1.63205E-06 | 3.222442667 | 1.63045E-06 | 0.018255076 |
| 22 | 1.63139E-06 | 0.292739229 | 1.63341E-06 | 5.267026076 |

**Tabel 5.** Data kuat sinyal dan fase masing-masing gelombang *ordinary* dan *extraordinary link* Surabaya-Biak mode propagasi 3F

| Jam | 2F Mode     |             |             |             |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|
|     | Ao          | Po          | Ax          | Px          |
| 14  | 2.13256E-07 | 0.424065295 | 1.8776E-07  | 5.224235029 |
| 15  | 2.92753E-07 | 3.644088486 | 2.69542E-07 | 0.354620724 |
| 16  | 3.88384E-07 | 6.085531257 | 3.70794E-07 | 1.754637343 |
| 17  | 4.99183E-07 | 0.934139171 | 1.90433E-07 | 0.099940552 |
| 18  | 1.42092E-06 | 4.185672438 | 2.08836E-07 | 5.774768476 |
| 19  | 5.55316E-07 | 4.790365905 | 1.43707E-06 | 4.306108819 |
| 20  | 5.57542E-07 | 0.820943619 | 2.19561E-07 | 3.332239848 |
| 21  | 5.62591E-07 | 2.084509533 | 5.63757E-07 | 2.115521362 |
| 22  | 0           | 0           | 5.38834E-07 | 5.59720019  |
| 14  | 2.12794E-07 | 0.287045943 | 1.87654E-07 | 0.434420171 |
| 15  | 2.92371E-07 | 5.720946943 | 2.69189E-07 | 3.871493686 |
| 16  | 3.87892E-07 | 5.190838924 | 3.70859E-07 | 0.933249638 |
| 17  | 4.99183E-07 | 0.934139171 | 1.90433E-07 | 0.099940552 |
| 18  | 5.4609E-07  | 1.221255514 | 5.47111E-07 | 0.247456943 |
| 19  | 1.43693E-06 | 0.305318619 | 1.4371E-06  | 0.963905381 |
| 20  | 5.57667E-07 | 5.536047105 | 2.1954E-07  | 5.18594581  |
| 21  | 5.6211E-07  | 2.016666667 | 5.63434E-07 | 1.92827381  |
| 22  | 0           | 0           | 5.36219E-07 | 0.958496419 |
| 14  | 2.12297E-07 | 2.333443619 | 1.87237E-07 | 0.10113201  |

|    |             |             |             |             |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 15 | 2.91393E-07 | 4.72320001  | 2.68696E-07 | 0.225501571 |
| 16 | 3.8719E-07  | 2.21784619  | 3.70237E-07 | 2.843321171 |
| 17 | 4.19304E-07 | 0.758776438 | 4.14689E-07 | 6.240094876 |
| 18 | 5.45652E-07 | 2.121214648 | 5.46609E-07 | 4.876712971 |
| 19 | 1.43765E-06 | 3.768742371 | 5.51561E-07 | 1.736987476 |
| 20 | 5.57763E-07 | 1.98782519  | 2.195E-07   | 3.932468048 |
| 21 | 5.61952E-07 | 5.73071421  | 5.63309E-07 | 1.607351114 |
| 22 | 0           | 0           | 5.23275E-07 | 1.311925686 |

**Tabel 6.** Data kuat sinyal dan fase masing-masing gelombang *ordinary* dan *extraordinary link* Surabaya-Ternate mode propagasi 2F

| Jam | 2F Mode     |            |             |            |
|-----|-------------|------------|-------------|------------|
|     | Ao          | Po         | Ax          | Px         |
| 14  | 3.30654E-07 | 3.03507055 | 2.91783E-07 | 1.82178564 |
| 15  | 5.26421E-07 | 0.31387683 | 4.85168E-07 | 3.72132493 |
| 16  | 6.3488E-07  | 3.0339495  | 6.06178E-07 | 5.70564479 |
| 17  | 7.92536E-07 | 0.40874554 | 7.83194E-07 | 2.84924598 |
| 18  | 8.50228E-07 | 3.64049714 | 8.53872E-07 | 6.19237143 |
| 19  | 8.56054E-07 | 4.7612929  | 8.5955E-07  | 5.44633823 |
| 20  | 8.78318E-07 | 3.64026227 | 8.80588E-07 | 5.05298284 |
| 21  | 8.99009E-07 | 4.91388113 | 9.01979E-07 | 1.29174938 |
| 22  | 8.96447E-07 | 3.06907187 | 9.02015E-07 | 3.04439373 |
| 14  | 7.72043E-07 | 0.47278366 | 6.80861E-07 | 0.47270285 |
| 15  | 5.26256E-07 | 0.46884716 | 4.8501E-07  | 0.46713904 |
| 16  | 6.33943E-07 | 5.43125    | 6.05481E-07 | 5.22249116 |
| 17  | 7.61368E-07 | 1.66359349 | 7.51756E-07 | 5.08637894 |
| 18  | 8.50228E-07 | 1.79831792 | 8.29034E-07 | 5.38966937 |
| 19  | 8.33001E-07 | 1.10311405 | 8.3785E-07  | 1.7627149  |
| 20  | 8.50157E-07 | 4.4819522  | 8.55088E-07 | 4.42355708 |
| 21  | 8.64091E-07 | 4.97352188 | 8.70286E-07 | 1.1882507  |
| 22  | 8.459E-07   | 2.58816035 | 9.02015E-07 | 3.04439373 |
| 14  | 4.14485E-07 | 1.68359243 | 3.65887E-07 | 0.18459655 |
| 15  | 5.24056E-07 | 0.46988376 | 4.83803E-07 | 0.46721013 |
| 16  | 6.33084E-07 | 3.32610111 | 6.04535E-07 | 0.0565619  |



|    |             |            |             |            |
|----|-------------|------------|-------------|------------|
| 17 | 7.64154E-07 | 3.68897812 | 7.53963E-07 | 2.20729499 |
| 18 | 8.29927E-07 | 2.48585312 | 3.22845E-07 | 5.91536492 |
| 19 | 8.31362E-07 | 4.24753633 | 8.36239E-07 | 5.75003754 |
| 20 | 8.50157E-07 | 4.4819522  | 8.37009E-07 | 4.42355708 |
| 21 | 8.64091E-07 | 4.97352188 | 8.70286E-07 | 1.1882507  |
| 22 | 8.58545E-07 | 5.02229053 | 8.58899E-07 | 4.8591159  |

**Tabel 7.** Data kuat sinyal dan fase masing-masing gelombang *ordinary* dan *extraordinary link* Surabaya-Ternate mode propagasi 3F

| Jam | 3F Mode     |            |             |            |
|-----|-------------|------------|-------------|------------|
|     | Ao          | Po         | Ax          | Px         |
| 14  | 1.27235E-07 | 2.094224   | 1.12924E-07 | 2.22693785 |
| 15  | 1.72781E-07 | 0.50566141 | 4.66135E-07 | 5.7813337  |
| 16  | 2.14568E-07 | 2.06474211 | 2.05876E-07 | 4.10608691 |
| 17  | 8.76635E-07 | 0.59561941 | 8.67079E-07 | 4.0261453  |
| 18  | 1.01112E-06 | 2.06566685 | 1.02107E-06 | 4.21540345 |
| 19  | 9.42877E-07 | 3.97086423 | 9.55372E-07 | 4.96135137 |
| 20  | 8.85251E-07 | 1.63170972 | 8.9865E-07  | 5.79266747 |
| 21  | 0           | 0          | 2.44183E-07 | 2.35614636 |
| 22  | 0           | 0          | 0           | 0          |
| 14  | 1.27786E-07 | 0.91878422 | 1.13475E-07 | 1.90601515 |
| 15  | 1.73773E-07 | 4.5894003  | 4.69433E-07 | 2.33947539 |
| 16  | 2.16586E-07 | 2.95185513 | 2.07839E-07 | 3.05910828 |
| 17  | 8.85418E-07 | 4.4131846  | 8.75908E-07 | 5.04696867 |
| 18  | 1.72048E-06 | 2.87783833 | 1.73758E-06 | 5.66253422 |
| 19  | 1.72717E-06 | 5.49934199 | 1.75107E-06 | 2.23718576 |
| 20  | 1.73873E-06 | 2.21498127 | 1.76762E-06 | 3.95324956 |
| 21  | 0           | 0          | 5.79858E-07 | 4.90268952 |
| 22  | 0           | 0          | 0           | 0          |
| 14  | 2.64096E-07 | 1.66030208 | 2.34501E-07 | 2.45174485 |
| 15  | 3.46647E-07 | 3.31071096 | 9.37635E-07 | 4.58973879 |
| 16  | 1.26947E-06 | 0.16774686 | 1.21232E-06 | 5.40406303 |
| 17  | 1.57102E-06 | 0.70936737 | 1.55437E-06 | 4.29356599 |
| 18  | 1.72065E-06 | 0.19676706 | 1.73815E-06 | 4.28344128 |

|    |             |            |             |            |
|----|-------------|------------|-------------|------------|
| 19 | 9.52703E-07 | 1.32064366 | 9.66471E-07 | 2.45866615 |
| 20 | 1.73494E-06 | 3.14963629 | 1.7666E-06  | 2.46494705 |
| 21 | 0           | 0          | 2.46799E-07 | 4.47063603 |
| 22 | 0           | 0          | 0           | 0          |

## **BIODATA PENULIS**



Yusnanda Nur Hidayati, lahir di Tuban pada tanggal 10 Oktober 1995. Anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dari SDN 2 Lohgung, lalu SMPN 3 Tuban, dilanjutkan pada SMAN 1 Tuban. Setelah menamatkan SMA, penulis melanjutkan studinya di D3 Teknik Telekomunikasi Politeknik Elektronika Negeri Surabaya dan lulus pada tahun 2015. Selanjutnya pada tahun 2016 penulis meneruskan studi sarjana di Teknik Elektro FTE-ITS, kemudian fokus pada bidang Teknik

Telekomunikasi Multimedia. Selama menempuh Pendidikan, penulis aktif pada berbagai kegiatan dalam bidang akademik dan non-akademik.